

LINEAMIENTOS CONCEPTUALES PARA EL DESARROLLO DE UN MODELO

Lineamientos conceptuales para el desarrollo de un modelo logístico de transporte de carga
terrestre por carretera para el departamento de Santander

Julián David Olarte Mateus

Dayana Alexandra Ballesteros Silva

Trabajo de Grado para Optar el título de Ingeniero Civil

Director

Yerly Fabián Martínez Estupiñán

Ms. C. Ingeniero civil

Codirector

Nelson Baza Solares

Ms. C. Ingeniero civil

Universidad Industrial de Santander

Facultad de ingenierías físico - mecánicas

Escuela de ingeniería civil

Bucaramanga

2023

LINEAMIENTOS CONCEPTUALES PARA EL DESARROLLO DE UN MODELO

Dedicatoria

Le dedico este trabajo de grado a mi madre Edith, la cual es mi inspiración para seguir adelante, a pesar de ya no estar con nosotros me sigues brindando tu fortaleza, sabiduría y amor incondicional, guiándome en cada pazo de mi vida, has sido la luz en momentos oscuros y siempre creíste en mí, gracias a ti he logrado cumplir mis sueños por esto este triunfo no es solo mío es de los dos. A mi hermano Diego por motivarme y apoyarme a cumplir mis metas, a mi tía Leila por sus consejos y enseñanzas, a mis tías por sus incontables apoyos, y a mi pareja Luisa por su ayuda incondicional para lograr terminan mi carrera.

Julián David Olarte Mateus

LINEAMIENTOS CONCEPTUALES PARA EL DESARROLLO DE UN MODELO

Dedicatoria

Le dedico este trabajo de grado a mis padres Olga y Jaime, quienes con su amor, paciencia, esfuerzo y dedicación me brindaron la oportunidad de cumplir un sueño más y quienes me ayudaron a forjar la persona que soy hoy en día, también a mis hermanos Juan y Luisa, quienes con su cariño y apoyo me motivaron a seguir adelante durante todo este proceso, junto a ustedes he pasado momentos inolvidables y son de las personas más importantes de mi vida, y a mis amigos que siempre me acompañaron en los momentos difíciles.

Dayana Alexandra Ballesteros Silva

LINEAMIENTOS CONCEPTUALES PARA EL DESARROLLO DE UN MODELO

Agradecimientos

Agradecemos a la universidad Industrial de Santander que nos formó no sólo como ingenieros, sino también como personas íntegras y con valores. También agradecemos a todos los directivos por estar pendientes de nuestra formación académica, permitiendo lograr que se cumplan satisfactoriamente los requerimientos para la formación de profesionales.

También le damos la gracias a todos los docentes que han sido parte de nuestro camino universitario, por transmitirnos los conocimientos necesarios para llegar hasta aquí, por la paciencia, dedicación y perseverancia que tuvieron para prepararnos como ingenieros de calidad.

Le agradecemos muy profundamente a nuestro tutor el Ms. C. Yerly Fabián Martínez Estupiñán por su dedicación y paciencia, sin usted no habiésemos podido lograr culminar este trabajo. Gracias por su guía y todos sus consejos, los cuales fueron de gran ayuda cuando las ideas no surgían, lo llevaremos grabado para siempre en la memoria en nuestro futuro profesional.

Gracias a nuestras familias, por el apoyo incondicional que nos dieron, por darnos la oportunidad de terminar nuestra carrera y por todos los consejos que nos motivaron a seguir adelante.

A nuestros amigos muchas gracias por el apoyo moral que nos brindaron en los momentos difíciles de este trabajo y de la carrera.

Tabla de contenido

	Pág.
Introducción	15
1. Objetivos	18
1.1. Objetivo General.....	18
1.2. Objetivos específicos	18
2. Marco teórico	19
2.1. Marco referencial.....	19
2.1.1. Planes logísticos de transporte	19
2.1.2. Referentes internacionales de modelos logísticos de carga	21
2.1.3. Panorama del transporte de carga terrestre a nivel Nacional	32
2.1.4. Panorama del transporte de carga a nivel de Santander.....	39
2.2. Caracterización del transporte de carga terrestre en el departamento de Santander. 41	
2.2.1. Principales tipos de carga transportados dentro del departamento de Santander 42	
2.2.2. Tiempos de transporte de carga terrestre en el departamento de Santander44	
2.2.3. Costos de transporte de carga terrestre en el departamento de Santander .. 47	
2.2.4. Transporte de carga entre municipios del departamento de Santander.....	53
3. Importancia de un modelo logístico de carga terrestre por carretera para el departamento de Santander.....	55
3.1. Principales lineamientos conceptuales requeridos para el desarrollo de un modelo logístico de carga terrestre por carretera.....	56
3.1.1. Variables que intervienen dentro de un plan logístico de carga terrestre ...	56
4. Información Espacial	57

LINEAMIENTOS CONCEPTUALES PARA EL DESARROLLO DE UN MODELO

5.	Propuesta conceptual de modelo logístico para Santander	64
5.1.	Datos de entrada para el desarrollo de un modelo conceptual	65
5.1.1.	Infraestructura de transporte	65
5.1.2.	Tipo de vía	65
5.1.3.	Número de Carriles	66
5.1.4.	Ubicación de bahías	66
5.1.5.	Reductores de Velocidad	66
5.1.6.	Semáforos	66
5.1.7.	Velocidad de diseño	67
5.1.8.	Puntos de Control.....	67
5.1.9.	Estado de la vía	67
5.1.10.	Costos	67
5.1.11.	Tiempos.....	67
5.1.12.	Bombeo	68
5.1.13.	Zonas Urbanas.....	68
5.1.14.	Tipo de Carga.....	68
5.1.15.	Niveles de servicio	69
5.1.16.	Terminales de transbordo y almacenamiento.....	69
5.1.17.	Topografía.....	69
5.1.18.	Zonas de inestabilidad geológica	69
5.1.19.	Cierres por obras de infraestructura	69
5.1.20.	Tipo de vehículo.....	70
5.1.21.	Rutas de Carga	70
5.1.22.	Tipo de pavimento.....	70
5.2.	Esquema del modelo conceptual	70

LINEAMIENTOS CONCEPTUALES PARA EL DESARROLLO DE UN MODELO

5.3.	Resultados de la simulación inicial	72
5.3.1.	Matriz O/D.....	72
5.3.2.	Estructuración de la red de transporte de Santander.....	76
5.4.	Escenarios.....	85
5.4.1.	Escenario 1.....	85
5.4.2.	Escenario 2.....	86
5.4.3.	Resultados.....	86
6.	Conclusiones y recomendaciones	87
	Referencias Bibliográficas.....	89

Lista de Figuras

Figura 1. Porcentaje de vías en buen estado por departamento [Pavimentadas y sin pavimentar] para el año 2019.	39
Figura 2. Mapa de información espacial de infraestructura vial.	59
Figura 3. Mapa de información espacial de la ubicación de puntos de control (peajes).60	
Figura 4. Mapa de información topográfica de Santander.	61
Figura 5. Mapa de información espacial zonas de amenaza en Santander.	62
Figura 6. Mapa de información espacial zonas de vulnerabilidad en las vías de Santander.	64
Figura 7. Diagrama preliminar del modelo conceptual de transporte de carga terrestre por carretera.	71
Figura 8. Representación en ArcGIS de elementos de doble calzada.	79
Figura 9. Valores de la velocidad de diseño de los tramos homogéneos en función de la categoría de la carretera y el tipo de terreno.	82
Figura 10. Ancho de calzada (metros).	83
Figura 11. Ancho de bermas.	84

Lista de Gráficas

Gráfica 1. Viajes Totales anuales realizados con el departamento de Santander como origen..... 43

Gráfica 2. Viajes totales anuales realizados con el departamento de Santander como destino..... 44

Gráfica 3. Regresión lineal de la serie histórica de los TPDs del INVIAS (1997-2017).
..... 73

Lista de Tablas

Tabla 1. Ventajas y desventajas de los tipos de transporte logístico.	21
Tabla 4. Resumen de los modelos de producción y atracción del transporte de mercancías	25
Tabla 5. Resumen de los modelos de distribución del transporte de mercancías.	26
Tabla 6. Resumen de los modelos de partición modal del transporte de mercancías.	30
Tabla 7. Resumen de modelos de asignación en sistemas de modelos de transporte de mercancías.	31
Tabla 2. Límites de carga por eje en Colombia, unidades en toneladas.	36
Tabla 3. Principales vías troncales y transversales del país.	37
Tabla 8. Datos totales condensados de Cantidad de viajes, Toneladas y Galones transportados.	42
Tabla 9. Tiempos de viaje con origen y destino en Santander.	45
Tabla 10. comparación de tiempos de algunos meses de los años 2019, 2021 y 2022.	45
Tabla 11. Datos de costos de viaje con origen en el departamento de Santander.	48
Tabla 12. Datos de costos de viaje con destino al departamento de Santander.	48
Tabla 13. Costos comparativos parciales de los años 2019, 2021 y 2022.	49
Tabla 14. Datos de costos condensados y discreteados por mes y año, teniendo a Santander como origen del flujo de carga. Fuente. Autores basados en información de la RNDC.	51
Tabla 15. Datos de costos condensados y discreteados por mes y año, teniendo a Santander como destino del flujo de carga. Fuente. Autores basados en información de la RNDC.	52
Tabla 16. Datos entre municipios de Santander teniendo a Bucaramanga como destino y origen.	53
Tabla 17. Parte de la Matriz O/D (Ejemplo).	74
Tabla 18. Criterio de validación del escenario en función del indicador GEH.	75
Tabla 19. Validación de datos del modelo.	75
Tabla 20. Campos mínimos en la red de transporte regional para un modelo.	78
Tabla 21. Valores empleados de los parámetros Alfa y Beta.	81
Tabla 22. Resultados de los escenarios analizados en el modelo planteado.	87

LINEAMIENTOS CONCEPTUALES PARA EL DESARROLLO DE UN MODELO

Glosario

Antrópico: Cuando el riesgo ambiental deriva de una actividad del ser humano, se lo califica como riesgo antrópico. Los accidentes que se producen en una central nuclear o en un pozo petrolero constituyen un ejemplo de un hecho que provoca un riesgo ambiental de tipo antrópico (Porto, 2014).

Carga: Este concepto hace referencia a los bienes o mercaderías que son movilizadas de un lugar de origen a otro de destino, de manera tal que estos alcancen su destino en buen estado y dentro de un lapso de tiempo concreto preestablecido (editorial, 2021).

Costos: Los costos de transportación son aquellos relacionados con el manejo de insumos o bienes, que incluye actividades como transporte, distribución, recolección y entrega. Además, en los casos en que la empresa cuente con flota propia, también se deben tener en cuenta los gastos necesarios para su mantenimiento y operación (Singer, 2021).

Lineamiento: Es una tendencia, una dirección o un rasgo característico de algo; es una explicación o una declaración de principios para seguir (Porto, Definición De, 2021).

Logística: La logística es el conjunto de los medios y métodos que permiten llevar a cabo la organización de una empresa o de un servicio. La logística empresarial implica un cierto orden en los procesos que involucran a la producción y la comercialización de mercancías (A., 2022).

Matriz O/D: La matriz origen-destino es una herramienta que ordena y cuantifica los desplazamientos generados entre varios lugares y se utiliza para tomar decisiones en infraestructuras o en el diseño de rutas de transporte público colectivo (RACC Mobility Club, 2023).

LINEAMIENTOS CONCEPTUALES PARA EL DESARROLLO DE UN MODELO

Modelo: El modelo de transporte es una aplicación especial de la programación lineal que consiste en la distribución de bienes o servicios, a partir de nodos de suministro, hacia varios destinos (Universidad Militar Nueva Granada, s.f.).

Transporte: El transporte de carga es el encargado de movilizar bienes y mercaderías de un lugar de origen a otro de destino, de manera tal que estos alcancen su destino en buen estado y dentro de un lapso de tiempo concreto preestablecido. Generalmente se trata de grandes cargamentos de materiales pesados, valiosos o voluminosos, cuyo traslado amerita condiciones especiales (editorial, Concepto, 2021).

LINEAMIENTOS CONCEPTUALES PARA EL DESARROLLO DE UN MODELO

Resumen

Los modelos logísticos de carga son herramientas matemáticas de modelación, planificación y gestión que permiten evaluar los impactos de los proyectos de infraestructura sobre el transporte terrestre de carga. Este proyecto de investigación realizó una serie de tareas que permitieron establecer los lineamientos conceptuales para el desarrollo de un modelo logístico de transporte de carga terrestre por carretera para el departamento de Santander. Inicialmente se trazó el año 2015 como punto de partida y se realizó una caracterización de la demanda, infraestructura vial, amenazas por eventos naturales, acontecimientos antrópicos, y entre otras características que constituyen los datos de entrada necesarios para el desarrollo del modelo logístico de transporte; información que se presenta en mapas geográficos realizados con ayuda del software QGIS. Adicionalmente, la información extraída de fuentes oficiales como la RNDC, grupos de investigación, entidades como el INVIAS, la ANI, entre otros; alimentan el modelo inicial y permiten determinar los lineamientos conceptuales aplicables al departamento de Santander, como son tiempos, costos, tipo de carga, cantidad de viajes, puntos de control, topografía y demás; finalmente se emplea el método de costo generalizado del transporte aplicado a la asignación de tránsito en redes regionales de carretera como análisis matemático.

LINEAMIENTOS CONCEPTUALES PARA EL DESARROLLO DE UN MODELO

Abstract

Freight logistics models are mathematical tools for modeling, planning and management that allow evaluating the impacts of infrastructure projects on land freight transportation. This research project made a series of tasks to establish the conceptual guidelines for the development of a logistic model of road freight transportation for the department of Santander. Initially, the year 2015 was traced as a starting point and a characterization of the demand, road infrastructure, threats due to natural events, anthropic events, and among other characteristics that constitute the input data necessary for the development of the logistic model of transportation was carried out; information that is presented in geographic maps made with the help of QGIS software. Additionally, the information extracted from official sources such as the RNDC, research groups, entities such as INVIAS, ANI, among others; feed the initial model and allow determining the conceptual guidelines applicable to the department of Santander, such as times, costs, type of cargo, number of trips, control points, topography and others; finally, the generalized transportation cost method applied to the allocation of traffic in regional road networks is used as mathematical analysis.

LINEAMIENTOS CONCEPTUALES PARA EL DESARROLLO DE UN MODELO

Introducción

A lo largo de la historia se ha presentado una problemática en torno a la movilidad vial y sus dificultades al relacionarse con los usuarios; el sistema de carga terrestre adicionalmente permite satisfacer necesidades básicas como la educación, salud y el trabajo; es por esto, que es posible afirmar que el desarrollo de este ámbito en un país se convierte en una obligación para cubrir las necesidades de las personas (Rivera, 2015).

En los países de Latinoamérica la infraestructura vial es un factor fundamental para el crecimiento y desarrollo de las regiones, que posibilita el transporte de la mayoría de los insumos requeridos para la solvencia básica de cualquier región, con un costo bajo de operación; pero que, a su vez, es un medio que se ve afectado por factores de sobrecostos, distancias y tiempos de entrega. La vulnerabilidad de la infraestructura de transporte terrestre ha hecho que en las últimas dos décadas se hayan desarrollado estrategias para mejorar la operación del transporte terrestre por carretera, especialmente el transporte de carga. En ese sentido aparecen los modelos logísticos de carga que buscan mediante el uso de herramientas matemáticas de modelación, planificación y gestión contar con mecanismos para evaluar los impactos de los proyectos de infraestructura sobre el transporte terrestre de carga y hacer seguimiento a la operación, permitiendo identificar situaciones que afecten su rendimiento y actuar tomando decisiones claras y concretas con base en datos y no solo con percepciones subjetivas, repercutiendo positivamente y de forma directa en la calidad de vida de los habitantes del lugar en que se implemente; reafirmando así, la idea de que el mejoramiento de la infraestructura vial de un país, aporta al crecimiento del índice de competitividad y desarrollo del mismo.

En el departamento de Santander según INVIAS y la Secretaría de Infraestructura de Santander, en el año 2021 contaba con 23.183 km, de los cuales 1.355 (5,8 %) corresponden

LINEAMIENTOS CONCEPTUALES PARA EL DESARROLLO DE UN MODELO

a red primaria; 2.361 (10,02 %), a red secundaria; y 19.467 (84%), a terciaria. Solo el 51,5% de la red vial primaria y el 22,7% de la red vial secundaria se encuentran en buen estado” (Martínez., 2022). Según Prosantander, por el departamento Santandereano pasan las principales conexiones y arterías del territorio colombiano; la Troncal del Magdalena, la transversal Pamplona-Bucaramanga-Barrancabermeja, el río Magdalena, la vía férrea La Dorada – Chiriguaná, entre otras. Sin embargo, los índices de infraestructura del departamento son realmente preocupantes, por costos de transporte terrestre a aduanas el departamento se encuentra en el puesto 21 a nivel nacional, en conectividad aérea en el puesto 7 y en infraestructura vial en el puesto 16 (Prosantander, 2022). Estos datos muestran la necesidad de contar con un plan de acción para el mejoramiento de la malla vial del departamento, sin embargo, dicho plan debe obedecer a las necesidades reales de transporte de las regiones y es allí donde se hace necesario contar con un modelo de carga terrestre en la región que permita realizar un análisis integral de la viabilidad e impacto y proyectos viales en el transporte de carga. Sin embargo, el desarrollo de dicho modelo requiere que se cuente con una base de datos históricos que permita ver las tendencias del departamento y sobre todo que se mantenga una constante recopilación de información y análisis continuo mediante información actualizada de los diferentes modos de transporte, situación que en la actualidad resulta difícil para el Departamento de Santander.

Con la información existente y de libre acceso, es posible comenzar a diseñar una base sólida para el desarrollo de un modelo de carga terrestre, partiendo de la malla vial del departamento, facilitando el análisis y la toma de decisiones por parte de las autoridades para el crecimiento y desarrollo de Santander; lo que conllevaría a una reducción de costos operacionales y el aumento de la competitividad de la región. En la actualidad los modelos logísticos pueden ser analizados como una posibilidad para replicar y usar a nivel de

LINEAMIENTOS CONCEPTUALES PARA EL DESARROLLO DE UN MODELO

Santander para mejorar la red vial del departamento; no obstante, es importante resaltar que la situación de la pandemia por la COVID-19 cambió por completo la tendencia de movilidad que se presentaba en el departamento, y que esta información atípica debe ser analizada de forma detallada ya que puede generar conclusiones atípicas con respecto a las tendencias normales antes del 2020. Por lo tanto, este trabajo de investigación busca responder la siguiente pregunta de investigación: *¿Cuál son los lineamientos conceptuales para el desarrollo de un modelo logístico de transporte de carga terrestre por carretera para el departamento de Santander?*

1. Objetivos

1.1. Objetivo General

Establecer los lineamientos conceptuales para el desarrollo de un modelo logístico de transporte de carga terrestre por carretera para el departamento de Santander.

1.2. Objetivos específicos

- ✓ Caracterizar la infraestructura de transporte de carga terrestre por carretera en el departamento de Santander, identificando las amenazas por eventos naturales y antrópicos, a partir de información secundaria.
- ✓ Caracterizar la demanda de transporte de carga terrestre por carretera, los agentes, los factores incidentes en la logística terrestre para el mercado regional, a partir de la información oficial disponible desde el año 2015.
- ✓ Establecer las variables para el desarrollo de un modelo logístico de carga terrestre por carretera.
- ✓ Diseñar un escenario de simulación para un modelo de carga terrestre por carretera para el departamento de Santander.

2. Marco teórico

2.1. Marco referencial

2.1.1. Planes logísticos de transporte

Los planes logísticos de transporte tienen una gran importancia debido a su utilidad para mejorar la eficiencia dentro de los procesos productivos y de distribución. Un buen plan logístico de carga asegura el éxito de los procesos, disminuyendo los costos asociados y de forma indirecta repercute en la satisfacción que tienen los usuarios del sector transporte. La logística de transporte administrada de manera efectiva produce grandes ventajas competitivas para el posicionamiento de una empresa en el mercado y la implementación de planes de contingencia más asertivos (Delivering moments of happiness, 2020)

✓ Importancia de los planes logísticos de transporte

La logística de transporte es una herramienta que permite determinar la eficiencia dentro de empresas o proyectos a través de los procesos que los conforman, lo que termina asegurando un flujo de mercancía para los consumidores en el tiempo y la dirección correcta.

El éxito de los procesos está ligado al desarrollo de una adecuada planeación en donde se priorice la satisfacción de los consumidores (clientes); un producto entregado en condiciones adecuadas habla directamente de la gestión de una empresa y da una buena o mala reputación según sea el caso. La buena imagen de una empresa es sin duda la base para brindar una sensación de seguridad y confianza, lo que se traduce en fidelidad por parte de los consumidores.

Adicionalmente, a un nivel más global, la economía nacional se ve beneficiada por el aumento porcentual del PIB (Producto interno bruto), lo que termina en la consolidación y

LINEAMIENTOS CONCEPTUALES PARA EL DESARROLLO DE UN MODELO

estabilidad financiera de un país, brindando mayores oportunidades de empleo y una mayor calidad de vida (BENJUMEA, 2013).

✓ **Funciones de los planes logísticos de transporte**

Entre las principales funciones que tienen los planes logísticos de transporte, destacan el control de inventarios, para dar garantías a los clientes al controlar los cambios presentados dentro de la mercancía; también están los procesos operativos de almacén, que aportan una ventaja competitiva tras prestar una mayor atención a la calidad y productividad de los procesos teniendo en cuenta la demanda; otras de las funciones de la logística son el transporte de distribución controlando los tiempos, la trazabilidad que permite ubicar las mercancías en cualquier punto de la línea de producción, y finalmente la logística inversa que considera las experiencias de los clientes para realizar una retroalimentación y mejorar continuamente los procesos logísticos (López, 2022).

✓ **Tipos de transporte logístico y distribución**

Los tipos principales de transporte logístico son el transporte aéreo, marítimo y el terrestre, en donde el terrestre a su vez se subdivide en; transporte por ferrocarril y transporte por carretera.

Cada uno de los tipos de transporte presentan diversas características que los hacen ser más o menos adecuados según; la distancia, el tipo de mercancía o el costo requerido para cada proceso de distribución; a continuación, se presentan algunas ventajas y desventajas de cada tipo de transporte.

LINEAMIENTOS CONCEPTUALES PARA EL DESARROLLO DE UN MODELO

TIPO DE TRANSPORTE		VENTAJAS	DESVENTAJAS
TRANSPORTE AÉREO		Mayor eficiencia y rapidez para largas distancias	Más costoso
TRANSPORTE MARÍTIMO		Económico para largas distancias	Poco eficiente - demorado
TRANSPORTE TERRESTRE	FERROCARRIL	Óptimo para distancias largas por tierra	vías de tránsito estrictas e inmodificables
	CARRETERA	Mayor flexibilidad en tránsito	Congestión de tráfico

Tabla 1. Ventajas y desventajas de los tipos de transporte logístico.

Fuente. Autores (Delivering moments of happiness, 2020)

✓ Estrategias para la optimización de planes logísticos de transporte

El proceso de optimización permite determinar carencias que ocurren dentro de las fases de una ruta de transporte, de manera que se planteen soluciones para mejorarlas, cabe resaltar que esto se logra a partir del análisis detallado y periódico; logrando un aumento en la eficiencia y competitividad de la ruta en que se implemente. Entre las estrategias más usadas para optimizar procesos referentes al transporte destacan; el monitoreo en tiempo real (uso de GPS) y constante de los vehículos, la planificación de rutas, la comunicación directa con los usuarios, análisis de niveles de tráfico y la revisión de factores aledaños a la ruta que puedan intervenir en la continuidad de la movilidad (Delivering moments of happiness, 2020).

2.1.2. Referentes internacionales de modelos logísticos de carga

Para lograr comprender a fondo la utilidad, funcionamiento e importancia de los modelos logísticos de carga, es necesario revisar algunos referentes internacionales tanto europeos, como del continente americano.

LINEAMIENTOS CONCEPTUALES PARA EL DESARROLLO DE UN MODELO

✓ **Modelos Europeos y Norte americanos**

Como parte del proyecto SPOTLIGHTS para DGTREN de la Comisión Europea, se ha establecido un European Model Directory (MDir) que contiene información sobre sesenta y cinco modelos de transporte de mercancías y 29 modelos conjuntos de transporte de pasajeros y mercancías (GERARD DE JONG, 2007).

El análisis presentado en el documento resalta las diferencias más importantes entre los mercados de transporte de carga y de pasajeros, teniendo en cuenta la diversidad de los que toman las decisiones en la carga (cargadores, transportistas, intermediarios, conductores, operadores), la diversidad de los artículos que se transportan (desde entregas de paquetes con muchas paradas hasta envíos a granel individuales de cientos miles de toneladas) y la disponibilidad limitada de datos (especialmente datos desagregados, en parte debido a razones de confidencialidad), adicionalmente se plantea la idea de realizar dos tipos de modelos, el primero sería un modelo rápido de análisis de políticas para la selección inicial y la comparación de alternativas de políticas; y el segundo sería más detallado con un pronóstico basado en redes para predicciones a nivel de red y para proporcionar insumos para la evaluación de proyectos.

El planteamiento de un modelo logístico de transporte de mercancías se muestra también como una alternativa viable para el desarrollo de modelos de carga de transporte de pasajeros, razón por la cual se presenta información sólo para los transportes de mercancía. Para comenzar es necesario dividir por etapas las actividades relacionadas con el transporte de carga, y en este caso específico se plantean cuatro etapas que son; producción y atracción, distribución, partición modal y finalmente la asignación.

LINEAMIENTOS CONCEPTUALES PARA EL DESARROLLO DE UN MODELO

- **Producción y atracción:** Durante esta fase se determinan las cantidades de mercancías a transportar desde las distintas zonas de origen y las cantidades a transportar a las distintas zonas de destino. La dimensión de salida es toneladas de mercancías.
- **Distribución:** Se determinan los flujos en el transporte de mercancías entre orígenes y destinos, la dimensión es toneladas.
- **Partición modal:** Se establece la asignación de los flujos de mercancías a los modos (por ejemplo, carretera, tren, transporte combinado, vías navegables interiores).
- **Asignación:** Después de convertir los flujos en toneladas a unidades de vehículos, se pueden asignar a redes (en algunos modelos se trata de asignar flujos de camiones junto con automóviles de pasajeros a redes de carreteras).

Adicionalmente a los cuatro pasos que se establecen, se requiere de varios módulos de transformación (tasas de conversión) dentro del modelo de sistema integral de transporte de mercancías (usando relaciones valor/peso, pasar flujos en toneladas a unidades de vehículos); con la finalidad de aportar información necesaria a la hora de realizar predicciones finales, por lo que se hace indispensable la obtención de datos relevantes o de gran importancia dentro del modelo sistemático. A grandes rasgos el modelo se encuentra influenciado por un gran número de decisiones sobre la frecuencia de los envíos, tamaño del envío, cargas de retorno y tasas de utilización del vehículo; para cambios de zonificación gruesa a fina es necesario establecer un módulo de regionalización.

✓ **Modelos de Producción y Atracción**

Dentro de esta etapa inicial existen cuatro tipos de modelos que han sido puestos en marcha:

- Modelos de series temporales y de tendencia
- Modelos tarifarios zonales de viaje
- Modelos de dinámica de sistemas

LINEAMIENTOS CONCEPTUALES PARA EL DESARROLLO DE UN MODELO

- E/S y modelos relacionados

Una de las características que tienen en común los modelos mencionados radica en que cuentan con datos agregados, no se han encontrado modelos de producción y atracción que cuenten con datos desagregados. En los modelos de tendencia se extrapolan los datos al futuro, que permiten desarrollar modelos de varios grados de sofisticación, que van desde los modelos con factores simples de crecimiento hasta modelos más complejos que cuentan con promedio móvil autorregresivo; a partir de estos es posible obtener pronósticos a corto plazo o incluso modelos de series de tiempo con variables explicativas como el PIB.

En el caso del modelo de dinámica del sistema ASTRA, los cambios que se presentan en los diferentes parámetros que componen el sistema son modelados explícitamente, de manera que los resultados sirvan para nutrir el módulo de economía regional y los cambios que presentan en las demás variables. Los parámetros de un sistema de modelo dinámico por lo general no se obtienen de la estimación estadística, sino a partir de la literatura existente, comprobando los comportamientos dinámicos que se den en el sistema, probando valores iniciales y usan métodos como el ensayo y error. Un modelo de dinámica de sistemas podría incluir también los pasos de división modal y distribución. Cabe resaltar que los modelos de dinámica de sistemas generalmente no contienen suficientes detalles espaciales y de red para producir flujos de zona a zona y cargas de enlace (GERARD DE JONG, 2007).

Existe un Manual de previsión de carga de respuesta rápida, en este se presentan tarifas de viaje para distintos tipos de vehículos de carretera (el enfoque de este manual es netamente unimodal) y clasificadas por industria para producción y atracción zonal, para ser utilizadas en regiones urbanas de los EE. UU.

Los modelos de tipo I/O son básicamente modelos macroeconómicos que parten de tablas del mismo tipo, estas a su vez describen en unidades monetarias lo que cada sector de la

LINEAMIENTOS CONCEPTUALES PARA EL DESARROLLO DE UN MODELO

economía entrega a los demás sectores, incluyendo también la demanda final de consumidores, importación y exportación. En el caso de las tablas E/S se tiene información no sólo de entregas entre grandes sectores, sino también entre regiones, adicionalmente estas tablas se pueden ampliar en función del crecimiento sectorial previsto.

PASO 1		
TIPO DE MODELO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Series de Tiempo	- Requiere datos limitados (muchos años)	- Baja percepción de la causalidad y el alcance se encuentra limitado por los efectos de las políticas.
Sistemas Dinámicos	- Necesita datos limitados, muestra información sobre el uso del suelo y es posible incluir variables con efectos externos y de políticas.	- No presenta pruebas estadísticas sobre los valores de los parámetros.
Tarifas de viaje	- Datos limitados a zonas.	- Poca percepción de la causalidad y alcance limitado de los efectos de las políticas.
De entrada y Salida (E/S)	- Enlazado a la economía, arroja información de las interacciones con el uso del suelo y efectos de las políticas de coeficientes elásticos.	- Requiere una tabla insumo-producto, de preferencia multirregional, supuestos restrictivos si los coeficientes son fijos. Necesita valores de conversión (a toneladas) e identificar flujos comerciales de exportación e importación.

Tabla 2. Resumen de los modelos de producción y atracción del transporte de mercancías

Fuente. Autores y (GERARD DE JONG, 2007)

✓ Modelo de distribución

De igual manera que para el paso 1, todos los modelos de distribución de carga, literariamente se basan en datos agregados. En este tipo de modelos los flujos comerciales que suelen darse en toneladas entre zonas de origen y destino se determinan en relación de medidas de producción y atracción, así como de una medida de resistencia al transporte (relacionado con costos); el método utilizado con mayor frecuencia en estos casos es el de gravedad (función del producto de las medidas de producción y atracción, dividido por alguna medida del costo de transporte).

LINEAMIENTOS CONCEPTUALES PARA EL DESARROLLO DE UN MODELO

Los modelos de gravedad para la distribución en carga se incluyen en los siguientes modelos:

- Modelo Holandés TEM-II (Tavasszy - 1994).
- Modelo SMILE holandés (Tavasszy - 1998).
- Modelo de tráfico del Gran Cinturón (Fosgerau - 1996).
- Estudio finlandés sobre diferentes tipos de modelos de distribución (Iikkanen - 1993).

El caso de los flujos de carga OD derivados de los análisis I/O multirregional con coeficientes elásticos pertenecen al modelo nacional Italiano, donde se obtienen dichos datos después de la transformación de unidades monetarias en toneladas y por consiguiente una respectiva regionalización. Estos modelos presentan tanto la metodología del paso de producción/atracción como del paso de distribución.

El modelo europeo de transporte de carga NEAC (planteada en el 200 por Chen y Tardieu) también modela la distribución simultáneamente con la producción y la atracción, pero tiene especial cuidado con los valores agregados por sector y los costos de transporte ofreciendo un modelo de tipo gravitatorio.

PASO 2		
TIPO DE MODELO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Gravedad	- Requiere datos limitados, efectos de política a partir de la función de costo transporte.	- Alcance limitado para incluir efectos de política y factores explicativos, número limitado de parámetros de calibración.
De entrada y Salida	- Enlace a la economía, brinda interacciones de uso del suelo y efectos de política si se obtienen coeficientes elásticos.	- Tabla de insumo - producto (multirregional), Supuestos restrictivos se los coeficientes son fijos y necesita conversión de valores a toneladas.

Tabla 3. Resumen de los modelos de distribución del transporte de mercancías.

Fuente. Autores y (GERARD DE JONG, 2007)

LINEAMIENTOS CONCEPTUALES PARA EL DESARROLLO DE UN MODELO

✓ **Modelo de Partición Modal**

En el caso de la partición modal del flete como tercer paso, se pueden encontrar modelos tanto agregados como desagregados (incluida la preferencia declarada, SP) en la literatura.

Se distinguen los siguientes modelos de reparto modal:

- Modelos basados en la elasticidad.
- Modelos de partición modal agregados.
- Modelos económicos neoclásicos.
- Modelos econométricos de demanda directa.
- Desagregar modelos de partición modal (incluidos modelos basados en inventario y modelos en datos de SP).
- Enfoque de microsimulación.
- Modelos de redes multimodales.

Los modelos basados en la elasticidad ponen en evidencia los efectos de cambiar una sola variable (por ejemplo, el costo). Las elasticidades se derivan de otros modelos o conocimiento experto.

Dichos modelos se utilizan principalmente para evaluaciones estratégicas y/o para una primera

aproximación rápida (seguida de un análisis más detallado utilizando otras formas de modelo) o en situaciones donde los datos son muy escasos. Ejemplos en el transporte de mercancías son el Metamodelo EXPEDITE para el transporte de mercancías (EXPEDITE - 2002) y el modelo PACE-FORWARD (Carrillo - 1996) para los Países Bajos.

En este paso tres se suelen encontrar modelos que comúnmente son modelos binomiales logit o MNL estimados en datos sobre las proporciones de diferentes modos para una serie de zonas, suelen basarse en la teoría de la maximización de la utilidad individual, pero solo bajo

LINEAMIENTOS CONCEPTUALES PARA EL DESARROLLO DE UN MODELO

supuestos muy restrictivos. Su objetivo es arrojar un valor de cuota de mercado de un modo, no la cantidad absoluta de transporte o tráfico como si lo hacen los modelos de demanda directa, lo que se ve reflejado en que las elasticidades de este modelo sean condicionales.

Los modelos de tipo neoclásico nacen de la teoría económica de la empresa. Para una función de costo, con los servicios de transporte como uno de los insumos; la variable explicativa en este caso es la participación presupuestaria que de algún modo estaría contemplada en el costo total. Esto hace que sea difícil combinar estos modelos dentro de un sistema de modelo de transporte más grande (cuatro pasos) porque en estos la participación en el volumen de transporte es considerada la variable relevante. Los modelos de división modal desagregados usan datos de encuestas de transportistas, encuestas de productos básicos y/o encuestas de SP. La mayoría de estos modelos son MNL o logit anidado (NL), que para las observaciones desagregadas se pueden basar en la teoría de maximización de la utilidad aleatoria bajo suposiciones bastante generales. En este caso, quien toma las decisiones es la empresa. La proliferación actual de formas funcionales con base en logit en el modelado del transporte de pasajeros y en otros lugares aún no ha tenido mucho efecto en el modelado del transporte de mercancías. La mayoría de los modelos de carga desagregados se ocupan únicamente de la elección del modo. Existen varios modelos solo con datos de SP, pero estos no están desarrollados para pronósticos de transporte sino para proporcionar valor de medidas de tiempo. Dichos modelos también pueden incluir confiabilidad y otras variables cualitativas. En Estados Unidos, se ha desarrollado un prototipo de modelo de transporte de mercancías para la región de Portland, con un modelo de nivel superior que produce flujos de zona a zona en términos monetarios (un modelo I/O) y un modelo de nivel inferior que estima el viaje de vehículos urbanos patrones a partir de las salidas del modelo de nivel superior (GERARD DE JONG, 2007). El modelo de nivel inferior se denomina modelo de

LINEAMIENTOS CONCEPTUALES PARA EL DESARROLLO DE UN MODELO

microsimulación; se trata de un modelo a nivel de recorrido y viaje para el transporte de mercancías en camión, en este se incluye conversión a envíos, asignación a organizaciones individuales, asignación de puntos de transbordo, asignación a tipo de transportista y tipo de vehículo, generación de recorridos para obtener suficientes cargas de vehículos y conversión de recorridos a viajes para asignación (GERARD DE JONG, 2007).

Otro de los modelos comerciales de red multimodal de carga es FNEM (Freight Network Equilibrium Model), desarrollado por la Universidad George Mason para el Departamento de Energía de los Estados Unidos y la CIA en el año 1985. FNEM es un modelo de programación matemática no lineal y no requiere una estimación estadística de los parámetros, pero las predicciones se pueden validar con las observaciones. Abarca STAN en el sentido de que incluye un modelo de teoría de juegos con interacciones entre cargadores y transportistas, a diferencia de STAN que se centra en los transportistas. Además, tiene la posibilidad de una demanda elástica, lo que lo convierte en un modelo de equilibrio simultáneo para los cuatro pasos del modelo de transporte (GERARD DE JONG, 2007).

LINEAMIENTOS CONCEPTUALES PARA EL DESARROLLO DE UN MODELO

PASO 3		
TIPO DE MODELO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Basado en la elasticidad	- Requisitos de datos muy limitados, aplicación rápida.	- Las elasticidades pueden no ser transferibles solo el impacto de medidas individuales, sin sinergias.
Partición modal de agregados	- Requisitos de datos limitados.	- Base teórica débil, escasa percepción de la causalidad y alcance limitado de los efectos de las políticas.
Neoclásico	- Requisitos de datos limitados, base teórica.	- Difícil de integrar en el modelo de cuatro pasos.
Demanda Directa	- Requisitos de datos limitados.	- Difícil de integrar en el modelo de cuatro pasos.
Desagregar modelos de partición modal	- Bases teóricas, potencial para incluir muchas variables causales y medidas políticas.	- Se necesitan datos desglosados (encuesta de productos o remitentes y/o SP).
Microsimulación	- Muchas opciones de comportamiento y enlaces incluidos a la teoría.	- Grandes requisitos de datos o muchas suposiciones sobre las distribuciones.
Red Multimodal	- Requisitos de datos limitados, base teórica, puede incluir demanda elástica y políticas que afectan el costo de transporte generalizado.	- Poco conocimiento de la causalidad y mayormente hecho con demanda fija.

Tabla 4. Resumen de los modelos de partición modal del transporte de mercancías.

Fuente. Autores y (GERARD DE JONG, 2007)

✓ **Modelo de Asignación**

Para el caso del paso de asignación, los viajes de transporte por camión, ferrocarril o vías navegables (multimodal) interiores se asignan a rutas que funcionan con enlaces entre las respectivas redes modales. Varios modelos de carga no incluyen el paso de asignación; la mayoría de los otros modelos incluyen solo asignación para camiones. En algunos casos, la asignación a la red de carreteras se realiza junto con el tráfico de pasajeros, ya que el tráfico de mercancías suele ser solo una pequeña fracción del tráfico total (excepto cerca de las principales terminales de mercancías).

LINEAMIENTOS CONCEPTUALES PARA EL DESARROLLO DE UN MODELO

PASO 4		
TIPO DE MODELO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Escenario de asignación separada	- El modelo de elección de modo se puede desagregar, permite la interacción con viajes de pasajeros si los viajes de carga y de pasajeros se asignan juntos.	- La ausencia de interacción entre la demanda y la asignación puede ser poco realista; esto solo se puede hacer iterativamente y las cadenas de transporte son difíciles, pero no imposibles, de incorporar.
Red multimodal	- La sustitución tiene lugar entre combinaciones de modo-ruta, se pueden manejar cadenas con diferentes modos en una ruta.	- Poco margen para controlar el proceso de optimización (para algunos OD, la minimización de costos puede conducir a soluciones de modo-ruta poco realistas, debido a factores omitidos).

Tabla 5. Resumen de modelos de asignación en sistemas de modelos de transporte de mercancías.

Fuente. Autores y (GERARD DE JONG, 2007)

A consecuencia de la implementación de los modelos logísticos de carga en el continente europeo, se han logrado grandes avances en el campo de la movilidad, y a su vez lograr que lugares como Países Bajos, en la actualidad se considere un importante punto de conexión entre las distribuciones extranjeras y los centros de logística. Este país ocupó el cuarto lugar en la clasificación del Índice de Desempeño Logístico del Banco Mundial del año 2016 (en función de la eficiencia y eficacia de sus aduanas, la calidad del transporte, la infraestructura de TI y la facilidad y accesibilidad de los envíos); adicionalmente cuenta con aproximadamente 900 centros de distribución de empresas de Asia y América, razón por la cual también es conocido como "la puerta de entrada a Europa" (Services, 2022).

✓ **Recomendaciones para el desarrollo futuro**

- **Ideas básicas detrás del enfoque sugerido**

Para el desarrollo de futuros modelos de transporte de carga tanto nacionales como internacionales, (GERARD DE JONG, 2007) recomienda construir una familia integrada de modelos consistentes entre sí en dos niveles diferentes de resolución:

- 1) Un conjunto de modelos detallado (alta resolución)

LINEAMIENTOS CONCEPTUALES PARA EL DESARROLLO DE UN MODELO

- 2) Un conjunto de modelos rápido (baja resolución) modelo de análisis de políticas.

Existen variadas razones para construir una familia de modelos de este tipo como son:

- a) **Necesidades de información:** habrá varios tipos de usuarios para los modelos que intentarán responder diferentes tipos de preguntas y obtener información variada (resultados).
- b) **Necesidades cognitivas:** El razonamiento de los seres humanos es diverso y por lo tanto, se requieren diferentes niveles de detalle, de manera que se ofrezcan mayores facilidades de entendimiento.
- c) **Economía:** Las altas resoluciones suelen traer consigo mayores costos y en ocasiones se hace necesario bajar los niveles de detalle.
- d) **Precisión:** Cuando las consecuencias de las decisiones que se toman traen consigo costos considerables, es muy probable que se valoren los niveles de precisión altos, en donde el error cuadrático sea medio-bajo y las predicciones estén libres de sesgos.

2.1.3. Panorama del transporte de carga terrestre a nivel Nacional

Para tener una claridad sobre el panorama del transporte de carga terrestre en Colombia es necesario devolvemos a revisar cómo ha sido su evolución con el paso de los años, y tener claridad sobre cuáles son actualmente las principales vías del país y el estado en que se encuentran cada una de ellas.

✓ **Historia del transporte de carga a nivel Nacional**

La historia del transporte de carga en Colombia inicia en los tiempos de la conquista, durante esta época llegaron los españoles a realizar actividades comerciales internas, que lograron estructurarse gracias a que estas tierras en el momento eran habitadas por los indígenas y

LINEAMIENTOS CONCEPTUALES PARA EL DESARROLLO DE UN MODELO

porque se empezaron a usar los animales como medio de transporte, lo que permitió llevar las mercancías de un lugar a otro con mayor facilidad.

Más adelante con la llegada de la rueda y diversos avances tecnológicos, se logró evolucionar el transporte de carga, la evolución se da cuando el ferrocarril es utilizado de forma recurrente para los procesos de distribución de materiales destinados a cumplir distintos propósitos, adicionalmente se empiezan a usar los ríos para transportar artículos y personas tras descubrir algunas propiedades de la madera y más adelante se llegaría al uso de barcos a vapor (la mejor alternativa en ese momento para comercialización dentro del país); lo que finalmente llevaría a una disminución en los tiempos de movilización de las mercancías. Pero el transporte aéreo tampoco se quedaría atrás, ya que para ese momento se presentaría el cable aéreo como otra alternativa enfocada al transporte de personas, una idea que más adelante se vería renovada a causa de la segunda guerra mundial, esto debido a que en ese momento el país realizaría un acuerdo con una empresa de aviación comercial alemana, y ya para el año 1940 dicho acuerdo pasaría a las Aerolíneas Nacionales de Colombia (Avianca).

El transporte de carga por vía terrestre fue considerado el más lento de todos, ya que presentó pocos aportes y avances a la parte económica del país; este fenómeno se le atribuye a los nulos esfuerzos realizados para el desarrollo de políticas gubernamentales y la infraestructura vial (camino y carreteras) que facilitarían el transporte de bienes o personas.

El transporte en Colombia concretamente se desarrolló para el año 1845, cuando sale la primera ley nacional referente a trazabilidad de vías hacia diferentes zonas del país que tuvieran a la capital como punto de origen; sin embargo, dado que no se llevó a cabo ni la cuarta parte del plan ni se contó con una adecuada administración de los recursos monetarios destinados al proyecto, no alcanzó a completarse y los dineros que inicialmente serían destinados al plan, terminaron siendo invertidos en otras actividades.

LINEAMIENTOS CONCEPTUALES PARA EL DESARROLLO DE UN MODELO

Para el siglo XX en Colombia se importaría el primer automóvil, dando a conocer un nuevo medio de transporte que se abriría paso únicamente para uso y disfrute de la sociedad de alto estatus de la época, ya que estos acarreaban grandes costos; motivados por dichos avances en el año 1920, el estado colombiano se enfoca en la construcción, planeación y mantenimiento de carreteras y caminos óptimos para la movilización de automóviles. Más adelante la evolución de los medios de transporte presentaría los buses y camiones.

Tras la recesión del año 1929 y la consiguiente crisis económica que esta generó en el país, se toma la decisión de fomentar el crecimiento del transporte terrestre por carretera, pero enfocado a la conexión entre cabeceras urbanas. Gracias al nuevo medio implementado, la movilidad de mercancías, la accesibilidad a servicios de salud, acueducto, electricidad y la educación se hacen realidad también para zonas rurales empezando con vehículos como la chiva y el Willys (BENJUMEA, 2013).

✓ **Principales vías de Colombia y generalidades**

En Colombia la red vial se compone por una Red Primaria, Secundaria y terciaria, en donde la primaria está compuesta por grandes autopistas que por lo general están concesionadas por la nación, en el caso de las secundarias son vías con menor capacidad y suelen ser jurisdicción de cada departamento, y ya para la red terciaria se encuentran caminos veredales o las también conocidas trochas que suelen estar a cargo de los municipios. El territorio colombiano cuenta con una red de carreteras con una extensión de 206.102 km, de los cuales un porcentaje del 6.9%, equivalente a 16.983 km corresponden a red primaria, el 21% correspondiente a 44.400 km serían de red secundaria y un 69.46% que serían 142.284 km que corresponden a la red terciaria.

Los proyectos de Cuarta Generación que actualmente están en concesión son de los proyectos viales más ambiciosos que se han tenido en toda la historia del país. “Con un costo

LINEAMIENTOS CONCEPTUALES PARA EL DESARROLLO DE UN MODELO

aproximado de 18.000 millones de dólares en la modalidad de asociación Público Privada, se construirán 8.000 kilómetros, incluyendo 1,370 km de doble calzadas, y 160 túneles, en más de 40 nuevas concesiones mejorando así aspectos que se consideran relevantes como de tiempos de viaje, beneficios de tipo social, de tipo económico, beneficios para el productor, en seguridad vial, conectividad, mantenimiento del tramo de concesión, en especial, de carga, desde los puntos de manufactura hasta los puertos de exportación y accesibilidad” (ATLASSIAN, 2022).

Se espera que dentro de un máximo de seis años las obras se den por terminadas, contando a partir de la fecha de su asignación. La construcción de las vías de cuarta generación se espera traiga beneficios como la reducción de los recorridos de hasta un 30%.

Los seis principales corredores para el transporte logístico terrestre en Colombia son Medellín – Villavicencio, Bogotá - Cúcuta – Caribe, Medellín – Cúcuta, Bogotá – Buenaventura, Rumichaca – Caribe y Bogotá – Caribe, el transporte terrestre en Colombia representa un 80% del total del transporte de carga, razón por la cual en aras de disminuir costos y tiempos de viaje, se hace indispensable la mejora de los mismos.

Para el desarrollo de estructura vial en Colombia se deben afrontar distintos retos que en ocasiones suelen ser permanentes o repetitivos, entre ellos se encuentran las condiciones topográficas y estructurales que tiene el país (cadenas montañosas, zonas de alta sismicidad), que son producto de la geología del país; se destaca que por territorio colombiano pasan tres cordilleras, que generan dificultades en temas de conexión y comunicación entre las diferentes zonas del país.

Una de las medidas que se han venido implementando para el cuidado y mantenimiento de las vías del país han sido los límites de peso, que para Colombia se encuentran regulados desde el primero de enero del año 2013 mediante la resolución 2498 de 2018, en donde se

LINEAMIENTOS CONCEPTUALES PARA EL DESARROLLO DE UN MODELO

dictan las medidas para el control de peso vehicular bruto para el funcionamiento de vehículos de transporte terrestre de carga.

Límites de carga por eje	Colombia
Camión con 2 ejes	1 – 8 T
Camión con 3 ejes	17 T
Camión con 4 ejes	15 T
Semi-trailer con 3 ejes	15 T
Semi-trailer con 4 ejes	30 T
Semi-trailer con 5 ejes	35T
Semi-trailer con 6 ejes	18T
Camión & remolque con 4 ejes	N/A
Camión & remolque con 5 ejes	N/A
Camión & remolque con 6 ejes	N/A
Camión & remolque con 7 ejes	N/A

Tabla 6. Límites de carga por eje en Colombia, unidades en toneladas.

Fuente. (ATLASSIAN, 2022)

También es importante recordar que la red vial es regulada por el ministerios de transporte colombiano mediante el instituto nacional de vías INVIAS, direcciones territoriales y en ocasiones se delegan por concesión a empresas privadas, éstas se ven beneficiadas en ocasiones por los cobros de tarifas en puestos de control llamados peajes, estas tarifas son acordes al tipo vehículo que transcurre sobre la vía concesionada (Infogram, 2023).

Las vías principales del país están divididas en su gran mayoría entre troncales (sentido sur - norte) y transversales (sentido este – oeste), las troncales se caracterizan por iniciar en

LINEAMIENTOS CONCEPTUALES PARA EL DESARROLLO DE UN MODELO

fronteras internacionales y terminar en otra frontera o en los puertos del mar caribe, en el caso de las transversales son las que van por el país conectando las troncales entre sí.

Rutas troncales y transversales	
Alterna Bogotá al Llano	Transversal Buenaventura-Puerto Carreño
Alterna Occidental a Troncal del Carbón	Transversal Guajira
Alterna Occidental a Troncal del Magdalena	Transversal Las Ánimas-Bogotá
Alterna Oriental a Troncal de Occidente	Transversal Neiva-San Vicente
Alterna Oriental a Troncal del Carbón	Transversal Quibdó-Tunja
Alterna a Troncal de Occidente	Transversal Tumaco-Leticia
Avenidas Bogotá	Transversal de la Depresión Momposina
Chocontá-Aguaclara	Transversal del Caribe
Costa Pacífica-Caquetá	Transversal del Norte
Diagonal Guaviare	Troncal Central
Girardot-Mosquera	Troncal Central del Norte
Guadualejo-La Plata	Troncal Urabá-Llanos
Guainía	Troncal de Occidente
Montería-Lorica	Troncal de la Selva
Planeta Rica-Montería	Troncal del Carbón
Río Cauca-Río Arauca	Troncal del Eje Cafetero
Río Cauca-Río Magdalena	Troncal del Magdalena
Río Magdalena-Río Arauca	Troncal del Pacífico
Río Magdalena-Río Zulia	Variantes Troncal Central del Norte
Río Sarabita-Río Casanare	Variantes Troncal del Caribe
Río Sarabita-Río Meta	Vaupés
Río Sinú-Río Magdalena	Vía al Mar-Cali
Transversal Villeta-Bogotá	

Tabla 7. Principales vías troncales y transversales del país.

Fuente. (Infogram, 2023)

✓ **Desempeño logístico**

- Colombia cuenta con un puntaje de 2.94 sobre 5 en el índice de desempeño logístico, este puntaje se encuentra por debajo del promedio de la OCDE que es de 3,64 puntos, adicionalmente Colombia se sitúa por debajo de países como Brasil (2,99), Chile (3,32) y México (3,05)
- Cerca del 64% de las empresas del país no implementan recursos tecnológicos para el desarrollo de sus procesos de tipo logístico (competitividad, 2020 - 2021).

LINEAMIENTOS CONCEPTUALES PARA EL DESARROLLO DE UN MODELO

✓ **Transporte intermodal y de carga**

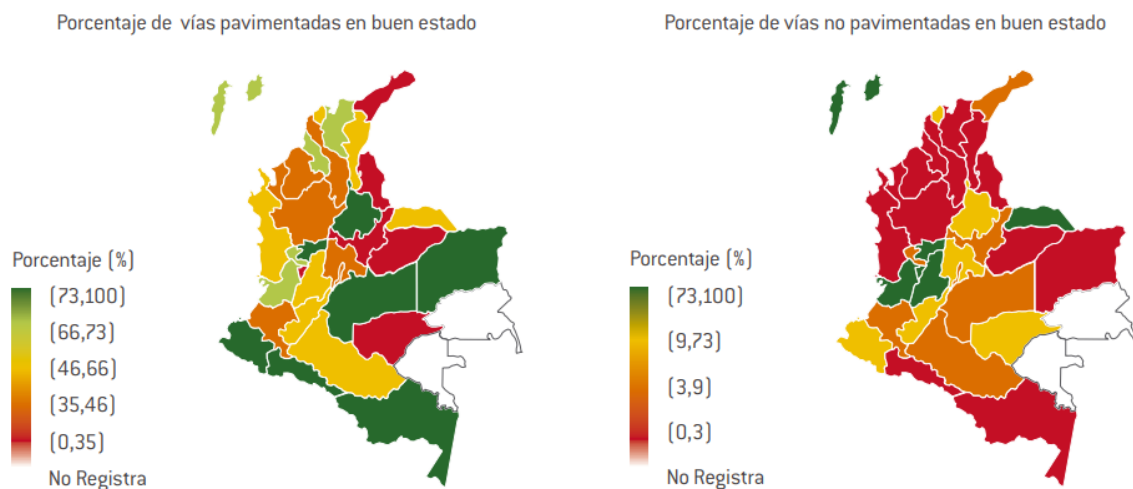
- De entre 141 países Colombia se encuentra en el puesto 104 en materia de calidad de infraestructura en el sector transporte.
- Los automóviles de carga particular que figuran con una antigüedad de más de 20 años representan un 76% del total de vehículos de esta tipología.
- Una barcaza es capaz de transportar 1600 toneladas de carga, lo que equivale a un total de 80 camiones con capacidad de 20 toneladas cada uno, por lo que es posible afirmar que el transporte intermodal ofrece ventajas en temas de eficiencia y si analizamos que con un litro de combustible se recorren 101 kilómetros por vía férrea, lo equivalente a 29 kilómetros por carretera, se estaría hablando de un ahorro energético significativo (competitividad, 2020 - 2021).

✓ **Infraestructura**

- Los requerimientos de infraestructura en todos los sectores que presenta el país tienen un costo aproximado de 382 billones de pesos colombianos, un valor que incluye 257 billones de pesos en transporte, cabe resaltar que gracias a las reformas institucionales y los cambios en modelos de financiación y contratación se han logrado obtener una cantidad considerable de recursos para inversión en proyectos de infraestructura y transporte (competitividad, 2020 - 2021).
- Se ha demostrado que los países que figuran con puntajes altos en el pilar de infraestructura del índice global de competitividad presentan menores tasas de pobreza.

LINEAMIENTOS CONCEPTUALES PARA EL DESARROLLO DE UN MODELO

Siete departamentos cuentan con más del 73 % de sus vías pavimentadas en buen estado, mientras que doce registran que, a lo sumo, el 3 % de sus vías no pavimentadas se encuentra en buen estado.



Nota: Incluye únicamente la red vial a cargo del Instituto Nacional de Vías (Inviás) y no contempla la red terciaria.

Figura 1. Porcentaje de vías en buen estado por departamento [Pavimentadas y sin pavimentar] para el año 2019.

Fuente. (competitividad, 2020 - 2021)

2.1.4. Panorama del transporte de carga a nivel de Santander

Los insólitos relieves y topografía del departamento de Santander son una realidad que viene desde las primeras tres décadas del siglo XX, en donde se primaba el uso del tren, algunos coches arriados por caballos, escasos vehículos importados por los más acaudalados y el avión para el transporte en general. Sin embargo, con el paso del tiempo y los avances obtenidos debido a las inversiones realizadas en infraestructura vial, fue posible abrir paso a la movilización de carga y pasajeros por carretera, permitiendo que cada vez para más personas fuera posible trasladarse de un lugar a otro con mayor facilidad.

Para el año 1915 Víctor M. Alarcón traería el primer bus de pasajeros a la capital santandereana. Este era un Santely Steamer que fuera enviado en cajas y sería armado en la ciudad.

A mediados del año 1922 el presidente Pedro Nel Ospina sancionaría la ley que dio por finalizado el funcionamiento del tren de Puerto Wilches. Mas adelante, exactamente para el

LINEAMIENTOS CONCEPTUALES PARA EL DESARROLLO DE UN MODELO

año 1938 se construiría el primer aeropuerto de la ciudad, que tendría por nombre Gómez Niño y que fue construido por la empresa Scadta.

Para el año 1939 y tras ver que se estaba dando una mayor relevancia al transporte aéreo, se establecería una asociación entre tres pequeños empresarios (Flota del fonce, Flota comuneros y Transporte Unión Santander) que terminarían consolidando la Cooperativa Santandereana de Transportadores Ltda., Copetran, para mover carga y pasajeros por todo el país.

San Gil fue también centro de operaciones de la empresa Berlinas del Fonce, y mientras que el transporte aéreo continuaba repuntando: en el año 1948 nacerá el taxi aéreo de Santander, Taxander, auspiciado por el Mayor retirado de la fuerza aérea colombiana, Alberto Parada y del empresario Gonzalo Galvis.

En agosto de 1974, se daría paso a una nueva etapa con la construcción del Aeropuerto Palonegro, que se encontraba a cargo de la Aeronáutica Civil, obra inaugurada por el presidente Misael Pastrana Borrero, a la vez se comenzó a gestar el gremio de los transportadores de carga por carretera Colfecar, un gremio que sería formalmente fundado en 1976, y que sería de gran ayudar en la tarea de consolidar el desarrollo industrial y empresarial de las actividades asociadas con el transporte en Colombia (S.A., 2019).

En la actualidad algunos de los grandes desafíos o propósitos que se tienen a favor del departamento de Santander son la mejora de la infraestructura vial (Problemáticas de deterioro, topografía desfavorable, fenómenos antrópicos y zonas de alta actividad sísmica), el fortalecimiento del transporte multimodal y el continuo avance en la navegabilidad del río Magdalena y la modernización del aeropuerto Palonegro (ANATO, 2019).

2.2. Caracterización del transporte de carga terrestre en el departamento de Santander.

Los escarpados relieves y topografía tortuosa del departamento de Santander son una realidad que siempre ha presentado dificultades en el desarrollo de proyectos de infraestructura vial, y sumado a esto los insuficientes avances tecnológicos adecuados dentro del país para este campo de acción.

Si revisamos la historia podemos observar que, durante las primeras tres décadas del siglo XX, en donde se primaba el uso del tren, el uso de vehículos importados por los más acaudalados era escaso y el avión era usado para el transporte en general; y aunque, con el paso del tiempo y los avances obtenidos debido a las inversiones realizadas en infraestructura vial, fue posible abrir paso a la movilización de carga y pasajeros por carretera, permitiendo que cada vez para más personas fuera posible trasladarse de un lugar a otro con mayor facilidad, estos avances no han sido suficientes para conectar todas las zonas del país (Especiales Vanguardia, 2023).

En la actualidad algunos de los grandes desafíos o propósitos que tiene el departamento de Santander son la mejora de la infraestructura vial (Problemáticas de deterioro, topografía desfavorable, fenómenos antrópicos y zonas de alta actividad sísmica), el fortalecimiento del transporte multimodal y el continuo avance en la navegabilidad del río Magdalena y la modernización del aeropuerto Palonegro (Especiales Vanguardia, 2023).

A continuación, se presentan datos recopilados de la página del Ministerio de Transporte; con foco principal en el departamento de Santander, incluyendo tiempos de viaje, costos

LINEAMIENTOS CONCEPTUALES PARA EL DESARROLLO DE UN MODELO

operativos, tipos de carga transportada y el movimiento de mercancías presente entre los municipios del departamento.

2.2.1. Principales tipos de carga transportados dentro del departamento de Santander

En el departamento de Santander se cuenta con una gran variedad de flujos de carga, que van desde toneladas (transporte de materiales e insumos), galones (aceites y crudos), hasta el transporte tradicional de pasajeros. Existen bases públicas y en línea como la RNDC (Registro Nacional de despacho de Carga) que es un sistema de información que permite recibir, validar, descargar y transmitir datos relacionados con las operaciones del servicio público de transporte de carga por carretera y es de gran utilidad para el desarrollo de la investigación.

Tabla 8. Datos totales condensados de Cantidad de viajes, Toneladas y Galones transportados.

Fuente. Autores a partir de información de la RNDC (Transporte, s.f.).

AÑO	VIAJES TOTALES ORIGEN SANTANDER	VIAJES TOTALES DESTINO SANTANDER	TONELADAS TOTALES ORIGEN SANTANDER	TONELADAS TOTALES DESTINO SANTANDER	GALONES TOTALES ORIGEN SANTANDER	GALONES TOTALES DESTINO SANTANDER
2015	337,783	381,279	4,037,102	5,354,615	341,276,153	134,163,453
2016	279,374	354,316	2,001,212	3,649,069	100,628,520	103,551,868
2017	307,907	361,301	2,081,528	3,130,812	90,783,081	95,561,835
2018	338,850	353,039	2,291,341	2,398,220	101,631,497	50,106,728
2019	339,302	355,100	3,740,971	4,460,975	326,045,531	150,972,347
2020	304,918	313,958	1,848,277	1,850,654	17,371,890	10,625,138
2021	328,222	339,821	3,548,333	4,089,494	321,785,942	189,513,219
2022	274,905	283,943	2,939,253	3,525,078	318,618,470	165,535,562

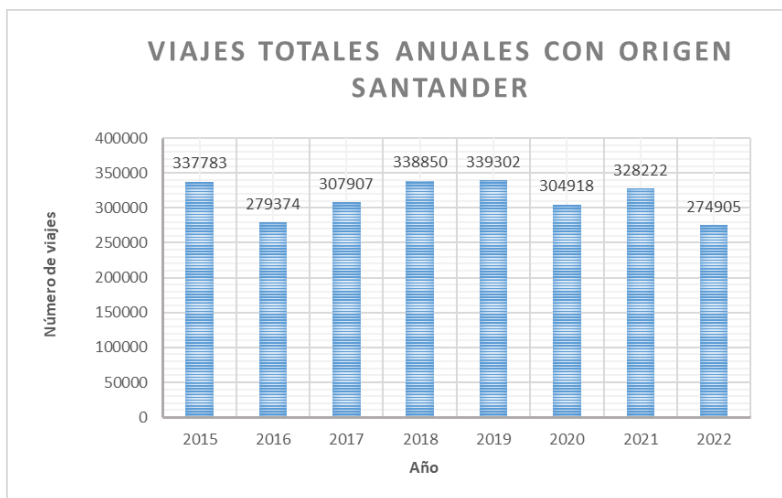
En la *tabla 8* se evidencia que durante el año 2019 se presentaron la mayor cantidad de viajes saliendo de Santander hacia las demás zonas del país, con un total de 339.302 viajes; analizando con detenimiento y tomando en cuenta la situación que se vivía dentro del país debido a la COVID-19, se comprueba que a causa del cese de actividades se presenta un

LINEAMIENTOS CONCEPTUALES PARA EL DESARROLLO DE UN MODELO

decrecimiento para el año siguiente; sin embargo, es notable que los viajes con origen en el departamento han ido en aumento en lo que va corrido del año 2022.

Los datos obtenidos para Santander como destino entre los años 2019 y 2020 han presentado una mayor variación en el tiempo analizado, donde claramente se evidencia una tendencia decreciente del 11.6% en la cantidad de viajes realizados durante el tiempo de pandemia, adicionalmente una reducción del 58.5% de las toneladas importadas al departamento, y finalmente una disminución del 93.0% de los galones entrantes al departamento, representados en combustibles, aceites, derivados del petróleo y entre otros insumos (Transporte, s.f.).

Con los datos presentados en la *Tabla 8*, se realizan diagramas de barras para evidenciar de forma clara la evolución de cada una de estas variables durante los años establecidos.

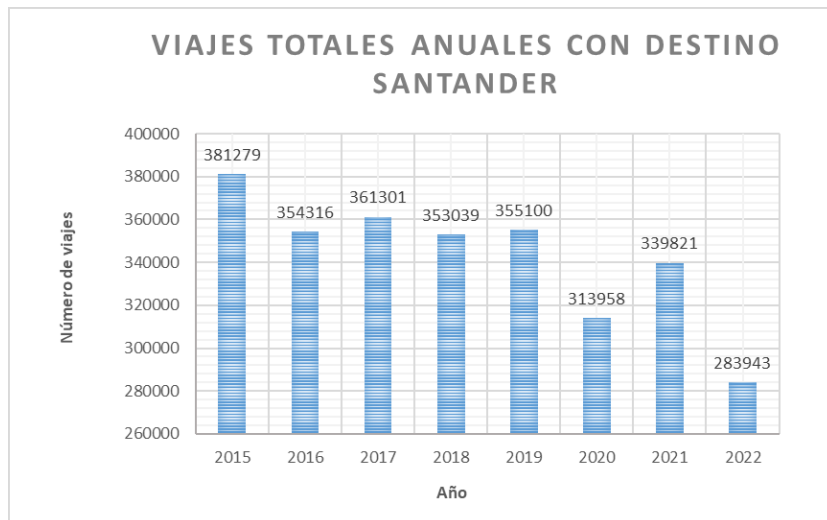


Gráfica 1. Viajes Totales anuales realizados con el departamento de Santander como origen.

Fuente. Autores a partir de información de la RNDC.

Por medio de la *Gráfica 1* es posible apreciar que en el año 2019 se presentan la mayor cantidad de viajes salientes de Santander hacia las demás zonas del país, teniendo en cuenta que para este año se presentó la COVID-19, generando disminuciones en el flujo vehicular notorias en comparación con años anteriores.

LINEAMIENTOS CONCEPTUALES PARA EL DESARROLLO DE UN MODELO



Gráfica 2. Viajes totales anuales realizados con el departamento de Santander como destino.

Fuente. Autores basados en información de la RNDC.

Los datos obtenidos para Santander como destino presentan una mayor variación en el tiempo analizado, donde claramente se evidencia una tendencia decreciente; sin embargo, es importante revisar valores atípicos como el presentado durante el año 2020 y las posibles causas de esta variación.

2.2.2. Tiempos de transporte de carga terrestre en el departamento de Santander

Los tiempos asociados al transporte terrestre de carga en Santander se encuentran registrados en la página del Ministerio de Transporte, más exactamente en el Registro Nacional Despacho de Carga (RNDC) (Transporte, s.f.), un sistema de información oficial que se mantiene en constante modernización; gracias a dichas actualizaciones la RNDC nos entrega información a partir del año 2019 para la variable tiempos. Permitiendo tener un registro detallado de estos periodos temporales que le toman a un vehículo desde su punto de partida hasta su destino; estos tiempos se han venido registrando mes a mes y se han conseguido bases de datos que permiten realizar análisis estadísticos descriptivos para obtener tiempos promedios entre ciudades y por consiguiente entre departamentos.

LINEAMIENTOS CONCEPTUALES PARA EL DESARROLLO DE UN MODELO

Tabla 9. *Tiempos de viaje con origen y destino en Santander.*

Fuente. Autores basados en información de la RNDC (Transporte, s.f.).

MES	ORIGEN			DESTINO		
	HORAS VIAJE	HORAS CARGUE	HORAS DESCARGUE	HORAS VIAJE	HORAS CARGUE	HORAS DESCARGUE
ENERO	1,836,405	105,815	133,552	1,954,841	107,918	133,327
FEBRERO	2,028,149	112,306	129,013	1,973,231	106,795	124,612
MARZO	2,261,034	127,101	140,121	2,384,981	123,376	147,067
ABRIL	1,825,355	92,617	114,508	1,739,438	96,928	115,551
MAYO	1,544,607	74,655	96,909	1,741,577	87,943	100,736
JUNIO	1,870,859	95,157	110,242	2,137,094	109,542	123,348
JULIO	1,991,732	103,404	125,176	2,329,338	117,501	127,967
AGOSTO	1,900,106	106,953	115,123	2,391,428	122,696	126,546
SEPTIEMBRE	2,126,812	104,956	125,392	2,488,395	122,777	135,236
OCTUBRE	2,224,525	105,293	131,895	2,646,227	122,396	136,205
NOVIEMBRE	2,039,424	100,501	115,657	2,374,138	116,390	132,576
DICIEMBRE	2,293,882	113,391	128,632	2,678,987	128,888	139,561
TOTAL	23,942,890	1,242,149	1,466,220	26,839,675	1,363,150	1,542,732
PROMEDIO	1,995,241	103,512	122,185	2,236,640	113,596	128,561

Tabla 10. *comparación de tiempos de algunos meses de los años 2019, 2021 y 2022.*

Fuente. Autores a partir de información de RNDC (Transporte, s.f.).

AÑO	MES	ORIGEN			DESTINO		
		HORAS VIAJE	HORAS CARGUE	HORAS DESCARGUE	HORAS VIAJE	HORAS CARGUE	HORAS DESCARGUE
2019	<i>Enero</i>	1,808,032	131,709	110,987	2,090,054	132,095	110,874
	<i>Junio</i>	1,964,306	135,862	116,459	2,181,010	137,589	108,386
	<i>Diciembre</i>	2,189,013	84,953	104,875	2,412,549	95,483	106,094
	PROMEDIO ANUAL	2,069,975	132,846	116,466	2,350,515	141,278	116,556
2021	<i>Enero</i>	1,836,405	105,815	133,552	1,954,841	107,918	133,327
	<i>Junio</i>	1,870,859	95,157	110,242	2,137,094	109,542	123,348
	<i>Diciembre</i>	2,293,882	113,391	128,632	2,678,987	128,888	139,561
	PROMEDIO ANUAL	1,995,241	103,512	122,185	2,236,640	113,596	128,561
2022	<i>Enero</i>	1,836,321	105,799	133,534	1,954,841	107,918	133,327
	<i>Junio</i>	2,371,954	119,261	121,973	3,168,551	128,080	128,678
	<i>Diciembre</i>	0	0	0	0	0	0
	PROMEDIO ANUAL	2,169,468	116,893	127,167	2,508,459	119,995	130,340

Con los datos condensados obtenidos del año 2021 (*Tabla 9*), se realizan análisis para identificar el tiempo requerido durante el año para el cargue, transporte y descargue de los vehículos de carga en Santander, así como determinar los meses en los que más tiempo se emplea para el transporte, teniendo a Santander como foco de origen y destino.

LINEAMIENTOS CONCEPTUALES PARA EL DESARROLLO DE UN MODELO

En los primeros meses del año 2021 los tiempos de cargue que tenían como destino a Santander se mantenían muy similares con los que tenían como origen al departamento, pero después del mes de mayo se observa que los tiempos de carga que tienen como destino Santander incrementan hasta un 15%, mientras que los tiempos de cargue con origen en Santander muestran un incremento gradual en el rendimiento de cargue del 2%. Sin embargo; es importante analizar y asociar estos tiempos con la cantidad de materia prima transportada, para de esta manera realizar un análisis más detallado.

Adicionalmente se observa que para el mes de mayo se define la tendencia de los tiempos de viaje, que pueden ser tanto crecientes como decrecientes; en el caso del año 2021, esta tendencia fue creciente con un porcentaje de variación del 6.4% entre los meses de abril y mayo, cabe aclarar que para el análisis realizado a los tiempos de viaje, se debe tener en cuenta todas las variaciones del año, razón por la cual se toma como ejemplo el año más actualizado hasta el planteamiento de la presente investigación, que adicionalmente cuente con información completa y las menores afectaciones por factores antrópicos.

En la *Tabla 10* se presenta un comparativo de los meses de los últimos años, ignorando el año 2020 debido a la presencia de factores antrópicos que lo vuelven irregular; razón por la cual este año se ignora para efectos de esta investigación; adicionalmente aclarar que, al momento de recopilar los datos del año 2022, sólo se encontraba información disponible hasta el mes de Junio; por lo que se puede apreciar que en la *Tabla 10* el mes de diciembre se encuentra sin valores.

La variación que se presenta entre las horas de viajes en relación con el departamento de Santander depende de la época, cantidad de mercancía enviada y las dificultades presentes en la vía. Como se muestra en la *Tabla 10* para el mes de junio el comparativo en la variable “HORAS VIAJE”, teniendo a Santander como destino; se observa que entre los años 2019 y

LINEAMIENTOS CONCEPTUALES PARA EL DESARROLLO DE UN MODELO

2021 la variación fue mínima, con un valor del 2% y en cambio para los años 2021 a 2022 se evidencia un aumento del 48.3% que equivalen a 1'031,457 horas de viaje; lo que podría indicarnos que la eficiencia en los procesos de transporte de carga se ha visto afectada con el paso de los años, disminuyendo en un 12.2%, valor obtenido a partir del análisis de los promedios anuales, sin olvidar que para el año 2022 sólo se están teniendo en cuenta valores hasta la mitad del año.

Finalmente, tras una revisión los valores obtenidos en las bases de datos en relación a la cantidad tiempo que dura la carga terrestre que circula dentro del territorio Colombiano, encontramos que los departamentos con los cuales se invierte más tiempo en el transporte de mercancías durante los años 2019, 2021 y 2022 son: Antioquia, Arauca, Atlántico, Bogotá D.C., Bolívar, Cesar, Cundinamarca, Norte de Santander y dentro del mismo Santander; la selección de estos departamentos se hace en base a los porcentajes arrojados de forma mensual para cada una de las variables de estudio, dicho valor se considera significativo si equivale a un valor mayor o igual al 0,25% del total de datos recopilados por año, en más de la mitad de los meses de estudio, esto se excluyó para el año 2022 debido a que no existen los datos del año completo para realizar un análisis exacto (Transporte, s.f.).

2.2.3. Costos de transporte de carga terrestre en el departamento de Santander

Los costos relacionados al transporte terrestre de carga en Santander se encuentran igualmente registrados en la página del Ministerio de Transporte, más exactamente en el Registro Nacional Despacho de Carga (RNDC), que a partir del año 2019 ha venido registrando información asociada con los costos de transporte de mercancías de diversas empresas; dentro de las bases de datos que ofrece la plataforma, se encuentran variables como la cantidad (Toneladas), los valores pactados, los valores pagados y entre otras. Basados en

LINEAMIENTOS CONCEPTUALES PARA EL DESARROLLO DE UN MODELO

esta información es posible realizar un análisis de precio unitario del costo de viaje desde cada uno de los departamentos en relación con la cantidad de Toneladas transportados.

Tabla 11. Datos de costos de viaje con origen en el departamento de Santander.

Fuente. Autores a partir de información de RNDC (Transporte, s.f.).

SANTANDER COMO ORIGEN							
AÑO	MES	CANTIDAD (Ton)	VALOR PACTADO	VALOR PAGADO	%CANTIDAD	%VALOR PACTADO	%VALOR PAGADO
2021	ENERO	50,480	\$ 50,016,294,708	\$ 50,072,887,137	0.0%	8.0%	8.0%
	FEBRERO	2,128,559,122	\$ 54,427,392,008	\$ 54,467,210,202	21.4%	8.7%	8.7%
	MARZO	2,217,533,142	\$ 58,382,857,122	\$ 58,477,278,029	22.3%	9.4%	9.4%
	ABRIL	922,002,155	\$ 48,676,612,829	\$ 48,762,961,033	9.3%	7.8%	7.8%
	MAYO	560,296,019	\$ 36,460,370,904	\$ 36,443,883,220	5.6%	5.9%	5.8%
	JUNIO	858,641,828	\$ 48,299,878,705	\$ 48,349,186,005	8.6%	7.8%	7.8%
	JULIO	879,206,692	\$ 50,507,143,392	\$ 50,544,628,766	8.8%	8.1%	8.1%
	AGOSTO	828,975,812	\$ 51,155,371,450	\$ 51,290,956,831	8.3%	8.2%	8.2%
	SEPTIEMBRE	54,306	\$ 54,862,915,131	\$ 54,904,759,045	0.0%	8.8%	8.8%
	OCTUBRE	56,423	\$ 54,988,289,956	\$ 54,989,039,202	0.0%	8.8%	8.8%
	NOVIEMBRE	644,304,356	\$ 52,958,386,558	\$ 52,949,556,134	6.5%	8.5%	8.5%
	DICIEMBRE	915,875,745	\$ 61,808,850,502	\$ 61,796,194,945	9.2%	9.9%	9.9%
	TOTAL	9,955,556,080	\$ 622,544,363,265	\$ 623,048,540,549	100%	100%	100%
PROMEDIO AÑO	829,629,673	\$ 51,878,696,939	\$ 51,920,711,712				

Tabla 12. Datos de costos de viaje con destino al departamento de Santander.

Fuente. Autores a partir de información de RNDC (Transporte, s.f.).

SANTANDER COMO DESTINO							
AÑO	MES	CANTIDAD (Ton)	VALOR PACTADO	VALOR PAGADO	%CANTIDAD	%VALOR PACTADO	%VALOR PAGADO
2021	ENERO	51,072	\$ 59,581,549,640	\$ 59,659,786,686	0.0%	7.1%	7.1%
	FEBRERO	973,630,838	\$ 62,108,064,572	\$ 62,153,404,025	9.5%	7.4%	7.4%
	MARZO	1,259,072,226	\$ 71,525,486,443	\$ 71,642,564,370	12.2%	8.5%	8.6%
	ABRIL	1,296,068,570	\$ 58,531,327,669	\$ 58,595,646,133	12.6%	7.0%	7.0%
	MAYO	652,453,720	\$ 50,655,352,320	\$ 50,668,340,503	6.3%	6.1%	6.0%
	JUNIO	998,366,998	\$ 71,765,577,362	\$ 71,861,774,248	9.7%	8.6%	8.6%
	JULIO	1,317,368,049	\$ 74,389,094,948	\$ 74,449,432,588	12.8%	8.9%	8.9%
	AGOSTO	1,296,720,095	\$ 76,255,533,478	\$ 76,335,977,589	12.6%	9.1%	9.1%
	SEPTIEMBRE	61,047	\$ 78,281,660,704	\$ 78,340,188,144	0.0%	9.4%	9.4%
	OCTUBRE	62,080	\$ 78,702,528,261	\$ 78,700,594,134	0.0%	9.4%	9.4%
	NOVIEMBRE	1,139,794,969	\$ 73,084,966,484	\$ 73,118,436,337	11.1%	8.7%	8.7%
	DICIEMBRE	1,361,919,478	\$ 82,074,800,519	\$ 82,131,501,873	13.2%	9.8%	9.8%
	TOTAL	10,295,569,142	\$ 836,955,942,400	\$ 837,657,646,630	100%	100%	100%
PROMEDIO AÑO	857,964,095	\$ 69,746,328,533	\$ 69,804,803,886				

LINEAMIENTOS CONCEPTUALES PARA EL DESARROLLO DE UN MODELO

Tabla 13. Costos comparativos parciales de los años 2019, 2021 y 2022.

Fuente. Autores a partir de información de RNDC.

AÑO	MES	SANTANDER COMO ORIGEN			SANTANDER COMO DESTINO		
		CANTIDAD (Ton)	VALOR PACTADO	VALOR PAGADO	CANTIDAD (Ton)	VALOR PACTADO	VALOR PAGADO
2019	Enero	2,628,783,337	\$ 45,846,579,564	\$ 45,855,021,955	590,602,430	\$ 57,476,794,912	\$ 57,503,956,517
	Junio	2,040,992,902	\$ 44,080,156,214	\$ 44,106,798,587	525,329,128	\$ 56,925,904,455	\$ 56,944,018,559
	Diciembre	956,376,624	\$ 43,727,247,547	\$ 43,735,937,359	917,038,067	\$ 58,348,028,313	\$ 58,382,596,973
	PROMEDIO ANUAL	2,036,236,577	\$ 46,643,218,536	\$ 46,664,445,822	849,352,953	\$ 61,832,463,223	\$ 61,860,640,415
2021	Enero	50,480	\$ 50,016,294,708	\$ 50,072,887,137	51,072	\$ 59,581,549,640	\$ 59,659,786,686
	Junio	858,641,828	\$ 48,299,878,705	\$ 48,349,186,005	998,366,998	\$ 71,765,577,362	\$ 71,861,774,248
	Diciembre	915,875,745	\$ 61,808,850,502	\$ 61,796,194,945	1,361,919,478	\$ 82,074,800,519	\$ 82,131,501,873
	PROMEDIO ANUAL	829,629,673	\$ 51,878,696,939	\$ 51,920,711,712	857,964,095	\$ 69,746,328,533	\$ 69,804,803,886
2022	Enero	1,074,194,180	\$ 58,044,887,724	\$ 58,132,975,750	1,074,194,180	\$ 58,044,887,724	\$ 58,132,975,750
	Junio	1,090,648,845	\$ 63,910,248,958	\$ 64,022,345,630	1,090,648,845	\$ 63,910,248,958	\$ 64,022,345,630
	Diciembre	0	\$ -	\$ -	0	\$ -	\$ -
	PROMEDIO ANUAL	1,260,332,272	\$ 70,066,912,799	\$ 63,009,636,091	1,260,332,272	\$ 70,066,912,799	\$ 63,009,636,091

A partir de los datos condensados de los costos mensuales de transporte en Santander obtenidos específicamente para el año de muestra 2021 (*Tablas 11 y 12*) en donde se presentan variables como “VALOR PACTADO” y “VALOR PAGADO” que hacen alusión a los costos asociados al transporte de carga en toneladas por vía terrestre (carretera); se identifica que, existe una variación entre los costos debido a la cantidad transportada, lugar de destino, tiempos de viaje entre otros factores que deben tenerse en cuenta al momento de presupuestar el transporte de mercancías.

Al hacer un análisis de la cantidad de kilogramos transportados por mes y los costos mensuales, es posible afirmar que independientemente del peso de la mercancía los costos de esta se pueden mantener estables, presentándose una variación independiente entre estas dos variables; cabe aclarar que esta afirmación está sujeta a diversos factores que pueden afectar la economía del país como lo es el alza y baja del dólar, lo que repercute en el cambio de precios de materiales de importación.

LINEAMIENTOS CONCEPTUALES PARA EL DESARROLLO DE UN MODELO

Adicionalmente, por medio de estas bases de datos que se encuentran discretizadas, es apreciable con qué departamentos Santander presenta un mayor flujo de productos comerciales provenientes de departamentos como; Antioquia, Arauca, Atlántico, Bogotá D.C. Bolívar, César, Cundinamarca, Norte de Santander y Santander (flujo interno); lo cual es un indicativo de que se deben priorizar proyectos de infraestructura que fortalezcan y mejoren la comunicación con estas zonas, disminuyendo significativamente los costos y tiempos generados por el transporte de mercancías.

En la *Tabla 13* se presenta un condensado parcial de los datos asociados a los costos de transporte de carga por carretera, de donde es posible analizar qué; entre el promedio anual de los años 2019 y 2022 hay una diferencia de casi el 38.1% de la cantidad de toneladas transportadas salientes del departamento, que representan una disminución de 775'940.305 toneladas, aclarando que fue mayor el flujo para el año 2019 que para el 2022; sin embargo, los costos asociados ("VALOR PAGADO") a dicho año 2019 son menores que los del año 2022, con una diferencia de \$16.345'190.269 que representan un aumento del 25.9% en los costos, lo que se relaciona directamente con factores como el precio del petróleo, el tiempo que dura la carga en la vía y otros agentes aledaños que afectan el transporte de carga por carretera; cabe aclarar que para el 2022 sólo estamos hablando de la mitad de los datos, lo que demuestra que a futuro se pueden igualar al año 2019 e incluso aumentar la cantidad de toneladas transportadas, pero aun así los costos siempre se mantienen en aumento.

LINEAMIENTOS CONCEPTUALES PARA EL DESARROLLO DE UN MODELO

Tabla 14. Datos de costos condensados y discreteados por mes y año, teniendo a Santander como origen del flujo de carga. Fuente. Autores basados en información de la RNDC.

SANTANDER COMO ORIGEN							
AÑO	MES	CANTIDAD	VALOR PACTADO	VALOR PAGADO	%CANTIDAD	%VALOR PACTADO	%VALOR PAGADO
2019	ENERO	2628783337	\$ 45,846,579,564.00	\$ 45,855,021,955.00	10.76%	8.19%	8.19%
	FEBRERO	2400815281	\$ 44,238,032,074.00	\$ 44,293,527,932.00	9.83%	7.90%	7.91%
	MARZO	2178662011	\$ 47,094,297,548.00	\$ 47,096,914,341.00	8.92%	8.41%	8.41%
	ABRIL	2059584483	\$ 46,171,337,384.00	\$ 46,186,422,957.00	8.43%	8.25%	8.25%
	MAYO	2654306490	\$ 47,545,021,664.00	\$ 47,543,682,188.00	10.86%	8.49%	8.49%
	JUNIO	2040992902	\$ 44,080,156,214.00	\$ 44,106,798,587.00	8.35%	7.88%	7.88%
	JULIO	2529947205	\$ 49,265,148,883.00	\$ 49,303,974,468.00	10.35%	8.80%	8.80%
	AGOSTO	2391139512	\$ 49,251,545,660.00	\$ 49,317,035,626.00	9.79%	8.80%	8.81%
	SEPTIEMBRE	1882593865	\$ 47,583,699,875.00	\$ 47,585,788,502.00	7.70%	8.50%	8.50%
	OCTUBRE	1688756177	\$ 49,957,814,107.00	\$ 49,969,327,503.00	6.91%	8.93%	8.92%
	NOVIEMBRE	1022881042	\$ 44,957,741,914.00	\$ 44,978,918,447.00	4.19%	8.03%	8.03%
	DICIEMBRE	956376624	\$ 43,727,247,547.00	\$ 43,735,937,359.00	3.91%	7.81%	7.81%
	TOTAL	24434838929	\$ 559,718,622,434.00	\$ 559,973,349,865.00	100.00%	100.00%	100.00%
2021	ENERO	50480	\$ 50,016,294,708.00	\$ 50,072,887,137.00	0.00%	8.03%	8.04%
	FEBRERO	2128559122	\$ 54,427,392,008.00	\$ 54,467,210,202.00	21.38%	8.74%	8.74%
	MARZO	2217533142	\$ 58,382,857,122.00	\$ 58,477,278,029.00	22.27%	9.38%	9.39%
	ABRIL	922002155	\$ 48,676,612,829.00	\$ 48,762,961,033.00	9.26%	7.82%	7.83%
	MAYO	560296019	\$ 36,460,370,904.00	\$ 36,443,883,220.00	5.63%	5.86%	5.85%
	JUNIO	858641828	\$ 48,299,878,705.00	\$ 48,349,186,005.00	8.62%	7.76%	7.76%
	JULIO	879206692	\$ 50,507,143,392.00	\$ 50,544,628,766.00	8.83%	8.11%	8.11%
	AGOSTO	828975812	\$ 51,155,371,450.00	\$ 51,290,956,831.00	8.33%	8.22%	8.23%
	SEPTIEMBRE	54306	\$ 54,862,915,131.00	\$ 54,904,759,045.00	0.00%	8.81%	8.81%
	OCTUBRE	56423	\$ 54,988,289,956.00	\$ 54,989,039,202.00	0.00%	8.83%	8.83%
	NOVIEMBRE	644304356	\$ 52,958,386,558.00	\$ 52,949,556,134.00	6.47%	8.51%	8.50%
	DICIEMBRE	915875745	\$ 61,808,850,502.00	\$ 61,796,194,945.00	9.20%	9.93%	9.92%
	TOTAL	9955556080	\$ 622,544,363,265.00	\$ 623,048,540,549.00	100.00%	100.00%	100.00%
2022	ENERO	1074194180	\$ 58,044,887,724.00	\$ 58,132,975,750.00	14.21%	13.81%	15.38%
	FEBRERO	1416169369	\$ 103,877,231,642.00	\$ 61,197,489,491.00	18.73%	24.71%	16.19%
	MARZO	1182214061	\$ 65,870,663,472.00	\$ 65,900,066,214.00	15.63%	15.67%	17.43%
	ABRIL	1481240198	\$ 60,670,488,336.00	\$ 60,760,212,904.00	19.59%	14.43%	16.07%
	MAYO	1317526979	\$ 68,027,956,659.00	\$ 68,044,726,559.00	17.42%	16.18%	18.00%
	JUNIO	1090648845	\$ 63,910,248,958.00	\$ 64,022,345,630.00	14.42%	15.20%	16.93%
	JULIO	0	\$ -	\$ -	0.00%	0.00%	0.00%
	AGOSTO	0	\$ -	\$ -	0.00%	0.00%	0.00%
	SEPTIEMBRE	0	\$ -	\$ -	0.00%	0.00%	0.00%
	OCTUBRE	0	\$ -	\$ -	0.00%	0.00%	0.00%
	NOVIEMBRE	0	\$ -	\$ -	0.00%	0.00%	0.00%
	DICIEMBRE	0	\$ -	\$ -	0.00%	0.00%	0.00%
	TOTAL	7561993632	\$ 420,401,476,791.00	\$ 378,057,816,548.00	100.00%	100.00%	100.00%

LINEAMIENTOS CONCEPTUALES PARA EL DESARROLLO DE UN MODELO

Tabla 15. Datos de costos condensados y discreteados por mes y año, teniendo a Santander como destino del flujo de carga. Fuente. Autores basados en información de la RNDC.

SANTANDER COMO DESTINO							
AÑO	MES	CANTIDAD	VALOR PACTADO	VALOR PAGADO	%CANTIDAD	%VALOR PACTADO	%VALOR PAGADO
2019	ENERO	590602430	\$ 57,476,794,912.00	\$ 57,503,956,517.00	5.79%	7.75%	7.75%
	FEBRERO	519843334	\$ 55,896,399,793.00	\$ 55,918,479,298.00	5.10%	7.53%	7.53%
	MARZO	751805406	\$ 61,387,207,971.00	\$ 61,412,461,618.00	7.38%	8.27%	8.27%
	ABRIL	739498171	\$ 57,678,931,417.00	\$ 57,691,066,284.00	7.26%	7.77%	7.77%
	MAYO	568893895	\$ 63,102,735,240.00	\$ 63,120,864,434.00	5.58%	8.50%	8.50%
	JUNIO	525329128	\$ 56,925,904,455.00	\$ 56,944,018,559.00	5.15%	7.67%	7.67%
	JULIO	1535796349	\$ 68,545,495,501.00	\$ 68,593,665,005.00	15.07%	9.24%	9.24%
	AGOSTO	1181508591	\$ 66,744,479,114.00	\$ 66,772,051,658.00	11.59%	9.00%	8.99%
	SEPTIEMBRE	906097621	\$ 64,436,095,195.00	\$ 64,454,052,217.00	8.89%	8.68%	8.68%
	OCTUBRE	806388631	\$ 66,756,706,992.00	\$ 66,787,768,745.00	7.91%	9.00%	9.00%
	NOVIEMBRE	1149433818	\$ 64,690,779,778.00	\$ 64,746,703,669.00	11.28%	8.72%	8.72%
	DICIEMBRE	917038067	\$ 58,348,028,313.00	\$ 58,382,596,973.00	9.00%	7.86%	7.86%
TOTAL	10192235441	\$ 741,989,558,681.00	\$ 742,327,684,977.00	100.00%	100.00%	100.00%	
2021	ENERO	51072	\$ 59,581,549,640.00	\$ 59,659,786,686.00	0.00%	7.12%	7.12%
	FEBRERO	973630838	\$ 62,108,064,572.00	\$ 62,153,404,025.00	9.46%	7.42%	7.42%
	MARZO	1259072226	\$ 71,525,486,443.00	\$ 71,642,564,370.00	12.23%	8.55%	8.55%
	ABRIL	1296068570	\$ 58,531,327,669.00	\$ 58,595,646,133.00	12.59%	6.99%	7.00%
	MAYO	652453720	\$ 50,655,352,320.00	\$ 50,668,340,503.00	6.34%	6.05%	6.05%
	JUNIO	998366998	\$ 71,765,577,362.00	\$ 71,861,774,248.00	9.70%	8.57%	8.58%
	JULIO	1317368049	\$ 74,389,094,948.00	\$ 74,449,432,588.00	12.80%	8.89%	8.89%
	AGOSTO	1296720095	\$ 76,255,533,478.00	\$ 76,335,977,589.00	12.59%	9.11%	9.11%
	SEPTIEMBRE	61047	\$ 78,281,660,704.00	\$ 78,340,188,144.00	0.00%	9.35%	9.35%
	OCTUBRE	62080	\$ 78,702,528,261.00	\$ 78,700,594,134.00	0.00%	9.40%	9.40%
	NOVIEMBRE	1139794969	\$ 73,084,966,484.00	\$ 73,118,436,337.00	11.07%	8.73%	8.73%
	DICIEMBRE	1361919478	\$ 82,074,800,519.00	\$ 82,131,501,873.00	13.23%	9.81%	9.80%
TOTAL	10295569142	\$ 836,955,942,400.00	\$ 837,657,646,630.00	100.00%	100.00%	100.00%	
2022	ENERO	1074194180	\$ 58,044,887,724.00	\$ 58,132,975,750.00	14.21%	13.81%	15.38%
	FEBRERO	1416169369	\$ 103,877,231,642.00	\$ 61,197,489,491.00	18.73%	24.71%	16.19%
	MARZO	1182214061	\$ 65,870,663,472.00	\$ 65,900,066,214.00	15.63%	15.67%	17.43%
	ABRIL	1481240198	\$ 60,670,488,336.00	\$ 60,760,212,904.00	19.59%	14.43%	16.07%
	MAYO	1317526979	\$ 68,027,956,659.00	\$ 68,044,726,559.00	17.42%	16.18%	18.00%
	JUNIO	1090648845	\$ 63,910,248,958.00	\$ 64,022,345,630.00	14.42%	15.20%	16.93%
	JULIO	0	\$ -	\$ -	0.00%	0.00%	0.00%
	AGOSTO	0	\$ -	\$ -	0.00%	0.00%	0.00%
	SEPTIEMBRE	0	\$ -	\$ -	0.00%	0.00%	0.00%
	OCTUBRE	0	\$ -	\$ -	0.00%	0.00%	0.00%
	NOVIEMBRE	0	\$ -	\$ -	0.00%	0.00%	0.00%
	DICIEMBRE	0	\$ -	\$ -	0.00%	0.00%	0.00%
TOTAL	6452982837	\$ 478,911,176,718.00	\$ 479,519,336,690.00	100.00%	100.00%	100.00%	

Al analizar los valores obtenidos en las bases de datos relacionadas con la carga que va saliendo de Santander para los demás departamentos durante el año 2019, 2021 y 2022, encontramos que existe una relación importante con el pasar de los meses entre la zona de Santander con los departamentos de Antioquia, Arauca, Atlántico, Bogotá D.C, Bolívar, César, Cundinamarca, Norte de Santander y con Santander (Flujo interno). Posteriormente se revisaron los datos correspondientes a la carga que entra al departamento de Santander teniendo como origen los demás departamentos, encontrando que los que presentan una

LINEAMIENTOS CONCEPTUALES PARA EL DESARROLLO DE UN MODELO

mayor representación en cuestión de costos son: Antioquia, Bogotá D.C, Bolívar, Cundinamarca, Magdalena, Santander (Flujo interno) y Valle del Cauca. Estos departamentos son seleccionados a partir de los porcentajes arrojados de forma mensual para cada una de las variables de estudio, dicho valor se considera significativo si presenta un valor mayor o igual al 0.5% del total de los valores anuales, la determinación estos departamentos con grandes índices de transporte de carga en Toneladas y costos elevados; son de vital importancia debido a que nos da una idealización de los territorios a los cuales se invierte la mayor cantidad de los costos de transporte.

2.2.4. Transporte de carga entre municipios del departamento de Santander

La carga interna que se mueve en el departamento de Santander se encuentra registrada en las bases de datos de la RNDC, a partir del año 2015. Para el análisis que se presenta a continuación se toma a la ciudad de Bucaramanga capital del departamento, como lugar de destino y origen del transporte de mercancías interno.

Tabla 16. Datos entre municipios de Santander teniendo a Bucaramanga como destino y origen.

Fuente. Autores a partir de información de RNDC (Transporte, s.f.).

AÑO	ORIGEN			DESTINO		
	VIAJES TOTALES	TONELADAS TOTALES	GALONES TOTALES	VIAJES TOTALES	TONELADAS TOTALES	GALONES TOTALES
2015	60,051	658,887	6,222,206	14,782	215,486	2,936,079
2016	55,294	457,728	4,883,350	16,445	87,853	337,181
2017	58,962	460,587	4,534,543	20,002	80,118	496,398
2018	65,378	487,026	4,200,679	18,922	86,152	458,688
2019	46,073	403,382	6,997,409	17,406	143,599	1,563,313
2020	59,016	443,642	5,421,244	17,115	70,359	505,105
2021	38,501	317,939	6,503,104	15,618	99,543	3,928,820
2022	35,167	300,780	6,844,557	15,342	94,748	2,296,568
PROMEDIO	52,305	441,247	5,700,887	16,954	109,732	1,565,269

En la *Tabla 16*, se presentan los valores condensados de viajes, toneladas y galones que se han transportado dentro del departamento durante los últimos años, cabe aclarar que la información del año 2022 se encuentra incompleta, debido a que, al momento de realizar el estudio, la información sólo se encontraba hasta el mes de junio del año mencionado.

Los datos en la *Tabla 16*, muestran que la cantidad de viajes realizados dentro del departamento de Santander se mantuvieron relativamente estables a pesar de la situación presentada a causa de la COVID-19 y que adicionalmente, para el año 2019, se presentó un incremento con respecto al año 2018 de 1'104.625 galones entrantes de insumos líquidos y en igual medida un crecimiento de 166.7% en toneladas transportadas con destino a la capital del departamento; sin embargo, estas variaciones se consideran valores atípicos para efectos de esta investigación, debido a que para el año 2020 estos valores volvieron a presentar disminuciones de un 67.7% en los galones transportados y de 73.240 toneladas menos transportadas teniendo como destino la ciudad capital. Los municipios que tienen una mayor conexión en el transporte de carga por vía terrestre con la ciudad de Bucaramanga son; Barbosa, Barrancabermeja, Curití, El playón, Floridablanca, Girón, Lebrija, Los santos, Piedecuesta, Rionegro, San Gil, El Socorro y Zapatoca.

Analizando los datos de promedio presentados en la *Tabla 16* es posible concluir que la ciudad de Bucaramanga presenta un mayor flujo de mercancías salientes que entrantes de los municipios del departamento de Santander. Adicionalmente, se evidencia que después del año 2020 que se presentó la COVID-19 los viajes dentro del departamento disminuyeron a razón de un 34.8%. Es apreciable que, a pesar de los cambios presentes en cada uno de los años seleccionados, no existe una tendencia cronológica clara en todas las variables estudiadas, por lo que es posible afirmar que el flujo interno del departamento de Santander no tiene una tendencia fija, una situación que

puede atribuirse a la falta de información con registros actualizados, errores de digitación y bases de datos incompletas.

3. Importancia de un modelo logístico de carga terrestre por carretera para el departamento de Santander

Un modelo logístico de carga terrestre por carretera sería de gran utilidad para el departamento de Santander debido a que con este sería posible realizar una planificación controlada y con indicadores de seguimiento de intervenciones en vías existentes y analizar proyectos para vías futuras, esto aportaría un gran avance en materia económica y sustentable para el departamento.

Por otro lado, el poder examinar la viabilidad de los proyectos e inversiones con una visión de planificación y de toma de decisiones permite optimizar los tiempos de planeación y evitar la realización de proyectos innecesarios, logrando una mayor competitividad a nivel nacional debido al mejoramiento controlado y seguro de la infraestructura vial; logrando conectar con zonas de alto potencial mercantil que generalmente se han visto afectadas por la falta de comunicación y vías óptimas para el transporte de mercancías mayormente agrícolas.

Adicionalmente, por medio de un modelo logístico de carga, sería posible establecer rutas alternas de tránsito que mejoren la movilidad vial frente a situaciones inesperadas o fenómenos naturales, que permitan hacer un cálculo de posibles sobrecostos y el impacto en todo el proceso logístico, ofreciendo alternativas a sus usuarios.

Con un modelo logístico, la economía de las empresas de transporte de Santander podría verse beneficiada, al obtener una mayor satisfacción para sus clientes tras mejorar el proceso de envío de mercancías, que se reflejaría en una disminución de costos en los productos y menores pérdidas por cancelación de pedidos debido a factores como la incertidumbre y quejas o reclamos por

incumplimiento en los tiempos de entrega, lo que generaría un aumento en las cadenas de producción y exportación de insumos aportando a grandes rasgos en el crecimiento del producto interno bruto (PIB) del departamento, lo que se traduce en un aumento de su competitividad y reconocimiento.

3.1. Principales lineamientos conceptuales requeridos para el desarrollo de un modelo logístico de carga terrestre por carretera

A continuación, se listan algunos de los principales lineamientos conceptuales incidentes en el desarrollo de los modelos logísticos de transporte de carga terrestre por carretera encontrados durante la revisión literaria.

3.1.1. Variables que intervienen dentro de un plan logístico de carga terrestre

Algunos de los factores que inciden de manera general en el desarrollo de la movilidad vial son por lo general;

- El tiempo
- Los costos
- Las distancias
- Los factores antrópicos
- La topografía
- La calidad de la red vial
- Zonas de inestabilidad geológica
- Cierres totales y parciales de vías
- Niveles de servicio
- Volúmenes vehiculares
- Puestos de control (peajes)

Todas estas variables están enfocadas en el análisis detallado, funcionamiento y mantenimiento de las condiciones de una red vial, lo que posteriormente permitiría determinar la existencia de fallos, problemas y modificaciones en el transporte de mercancías; de manera análoga junto al uso de métodos estadísticos y la información existente dentro de las bases de datos históricos, brindar posibles predicciones para la prevención de daños, sobrecostos y retrasos en las cadenas de distribución.

4. Información Espacial

Como se mencionó en la sección anterior la información espacial es fundamental para la creación de un modelo logístico. En ese sentido el desarrollo de un modelo logístico de transporte de carga terrestre por carretera para el departamento de Santander depende inicialmente de la información espacial disponible que se encuentra en fuentes oficiales, e informes previos desarrollados por grupos de investigación de diferentes universidades de la región, de donde es necesario filtrar, organizar y presentar dicha información con el fin de sacar el mayor provecho de esta.

Por lo tanto, con base en una revisión de diferentes fuentes de información secundaria como lo son el INVIAS, la Gobernación de Santander, la Agencia Nacional de Infraestructura (ANI), el Ministerio de Transporte, la Unidad Nacional para la Gestión del Riesgo y Desastres, investigaciones realizadas por la Universidad Industrial de Santander (UIS), entre otros documentos y estudios, a continuación, se identifica la información espacial con la que se cuenta, la cual es presentada en mapas que se presentan a continuación.

✓ **Información de red vial**

En el departamento de Santander según INVIAS y la Secretaría de Infraestructura de Santander, en el año 2021 contaba con 23.183 km, de los cuales 1.355 (5,8 %) corresponden a red primaria; 2.361 (10,02 %) a red secundaria; y 19.467 (84%) a terciaria. Solo el 51,5% de la red vial primaria y el 22,7% de la red vial secundaria se encuentran en buen estado” (Prosantander, 2022).

En el mapa presentado en la *Figura 2* se muestra la red vial primaria y secundaria (de manera parcial) del departamento de Santander; la información presentada en este, es de vital importancia, e incluso es posible afirmar que es la base fundamental para el montaje inicial del modelo de carga terrestre, debido a que gracias a esta información es posible evidenciar la localización, denominación y tipología de las vías que existen actualmente en el departamento; permitiendo asociar dicha información con las variables intervinientes del modelo.

Es necesario aclarar que la red terciaria del departamento, no se tomará en cuenta debido a que no se encuentra información oficial de estas vías, y la poca información existente no está actualizada.

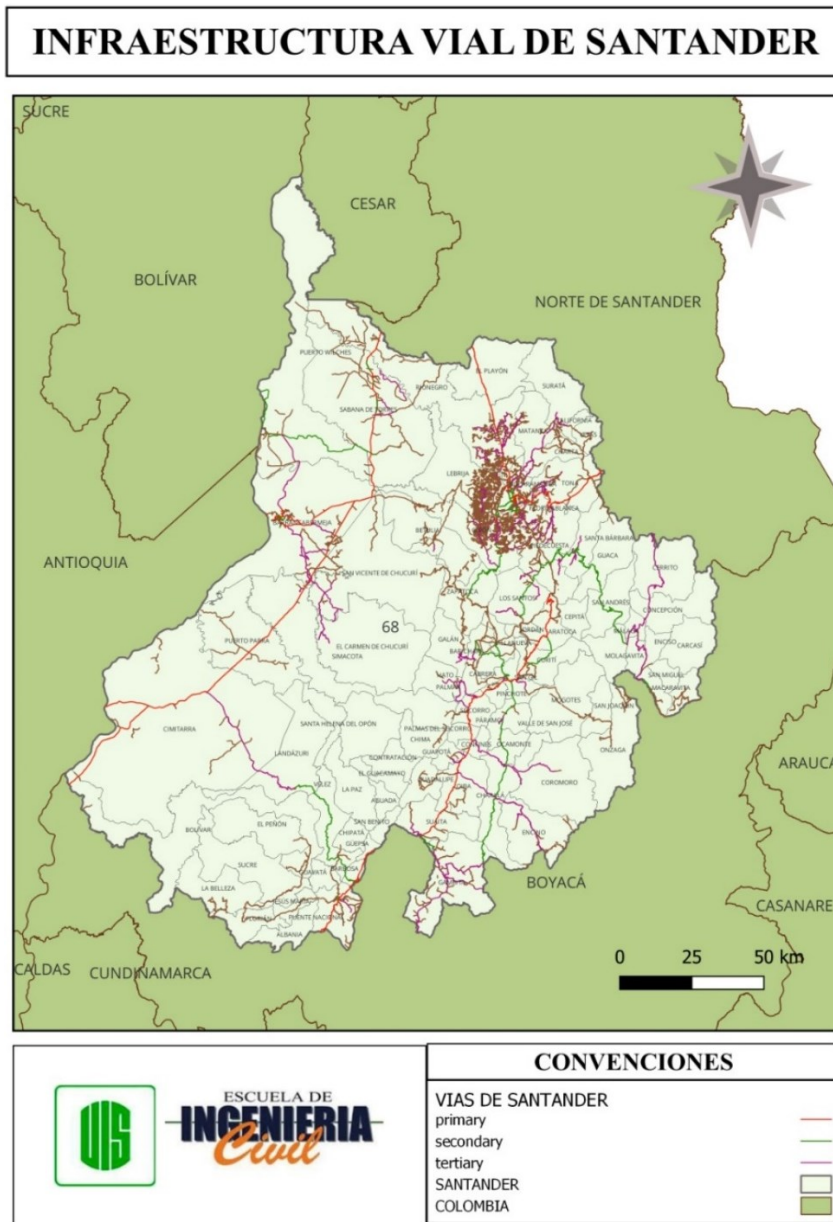


Figura 2. Mapa de información espacial de infraestructura vial.

Fuente. Autores, basados en información de grupo de Geomática UIS e información de INVIAS.

✓ **Información de puntos de control (peajes)**

En el mapa de la *Figura 3* se muestra la localización y denominación de los diferentes peajes sobre las vías del departamento de Santander, así como la autoridad a cargo de cada uno de ellos, las cuáles varían entre el instituto nacional de vías (INVIAS), la concesión ANI y el departamento de

Santander. Dicha información será de gran utilidad para la obtención de los niveles de servicio sobre la vía en donde se encuentren situados cada uno de ellos.

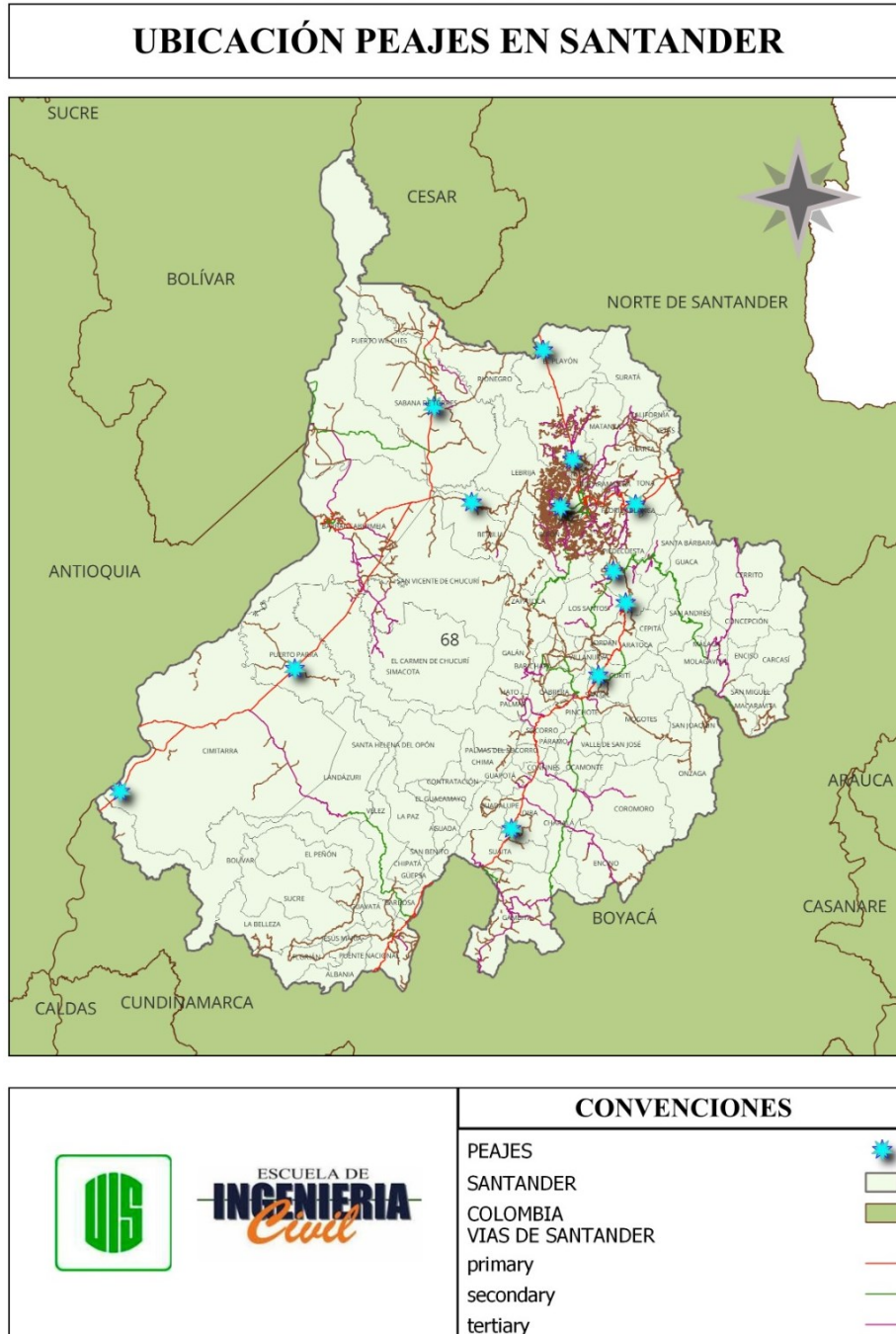


Figura 3. Mapa de información espacial de la ubicación de puntos de control (peajes).

Fuente. Autores, basados en información de grupo de Geomática UIS e información de INVIAS.

✓ Información topográfica

La *Figura 4* muestra información de curvas de nivel, sistemas montañosos y rangos de pendientes; esto permite visualizar las pendientes de la vía, necesarias para el análisis detallado de los niveles de servicio que requiere cada uno de los tramos viales que conforman el modelo; ya que la velocidad de un vehículo de carga pesada varía dependiendo de la pendiente de la vía, lo que genera zonas de alto riesgo y zonas de tráfico lento en pendientes elevadas.

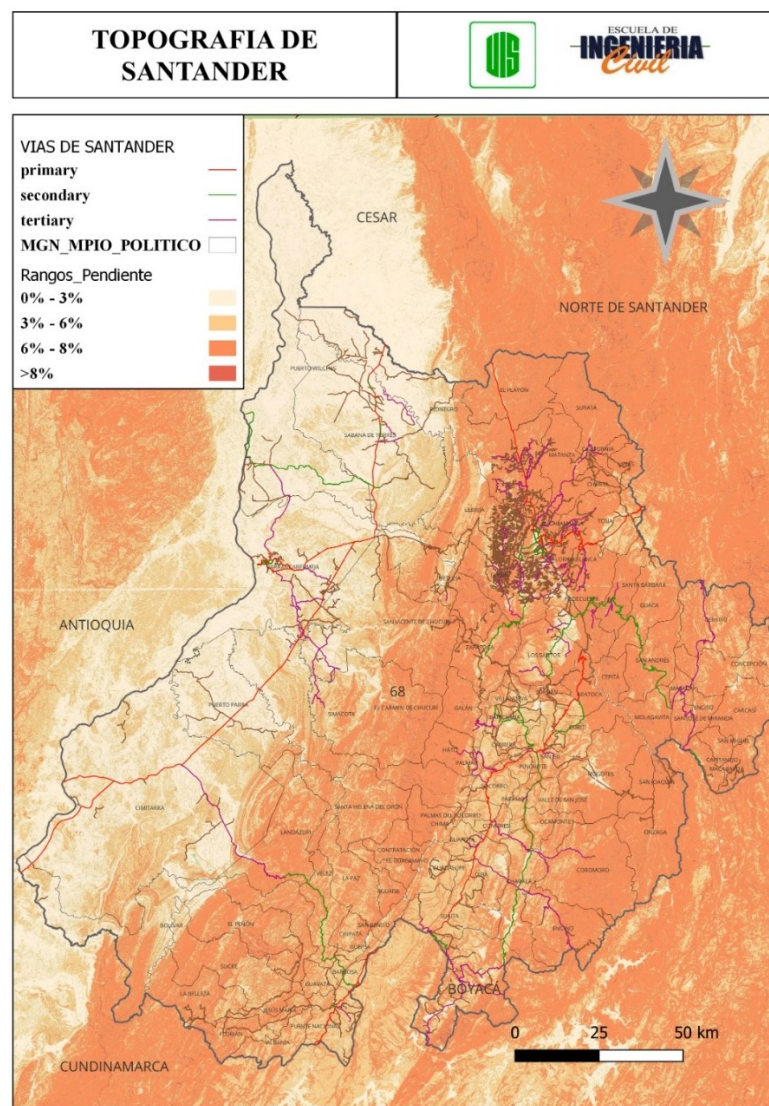


Figura 4. Mapa de información topográfica de Santander.

Fuente. Autores, basados en información de grupo de Geomática UIS e información de INVIAS.

✓ Información de amenazas

Dentro de este mapa (*Figura 5*) se presenta información espacial detallada de las zonas montañosas donde la actividad de fenómenos antrópicos, sísmicos, geológicos son más elevadas y por ende se requiere de obras de mitigación, control y seguimiento para la disminución de riesgos asociados, asegurando un correcto funcionamiento y uso de cada zona. Esto será de gran utilidad para tener presente las zonas que requieren de una estabilización, donde el control debe ser permanente, así como de ser posible evitar el trazado de proyectos viales futuros sobre dichas localizaciones.

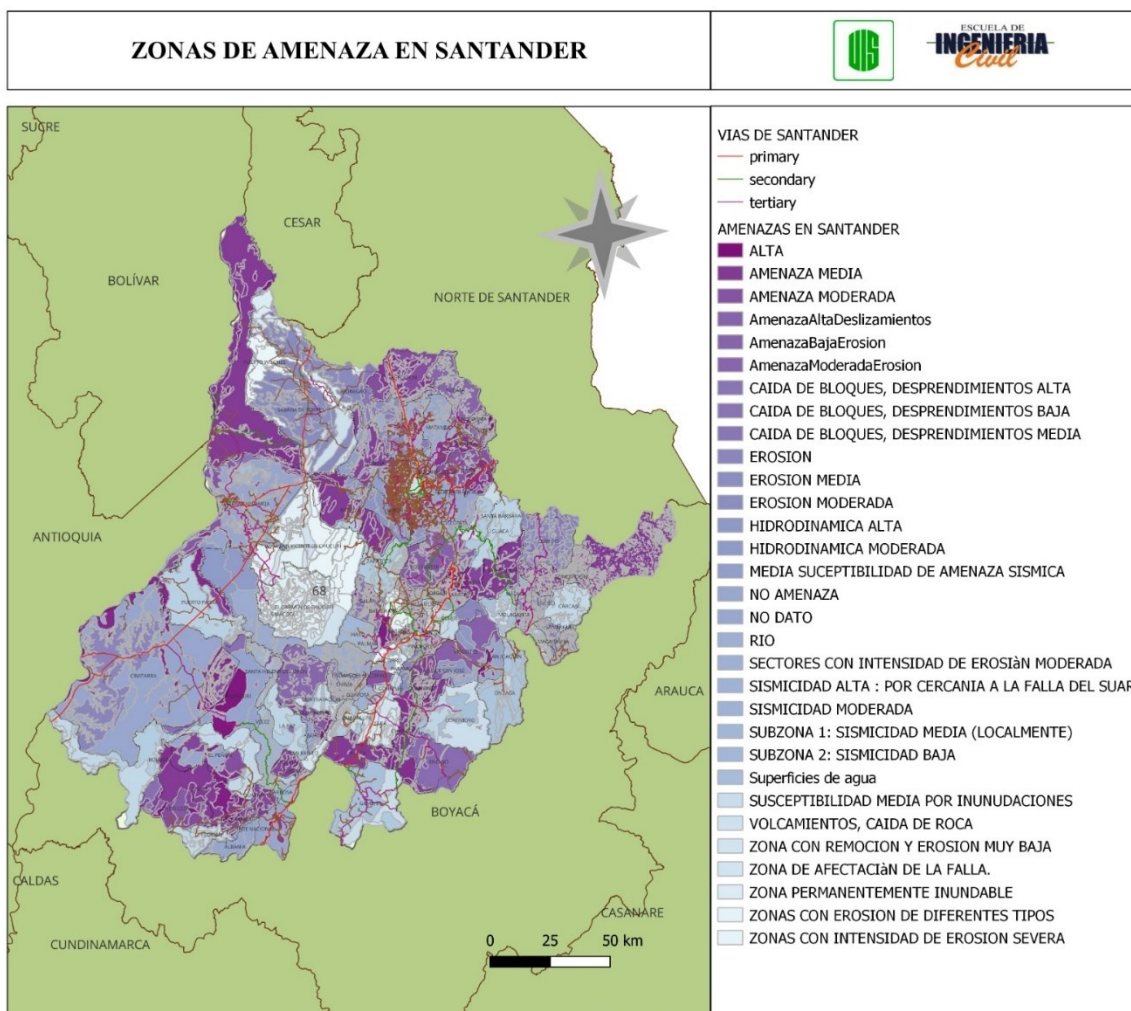


Figura 5. Mapa de información espacial zonas de amenaza en Santander.

Fuente. Autores, basados en información de grupo de Geomática UIS e información de INVIAS.

✓ **Información de vulnerabilidad**

En el mapa de la *Figura 6* se presentan datos relacionados con fallas inminentes (deslizamientos) que se han presentado de manera súbita en un registro histórico hasta 2020 y que se presentan como zonas problemáticas reincidentes para el desarrollo de la movilidad vial ya que suelen presentar cerramientos parciales o totales de la vía.

La vulnerabilidad como variable de análisis es de gran utilidad para seleccionar las zonas que se deben evitar en el diseño de nueva infraestructura vial o en el caso de las vías existentes, mantener en el punto mínimo su uso; presentando otras vías alternas que sean funcionales para los usuarios.

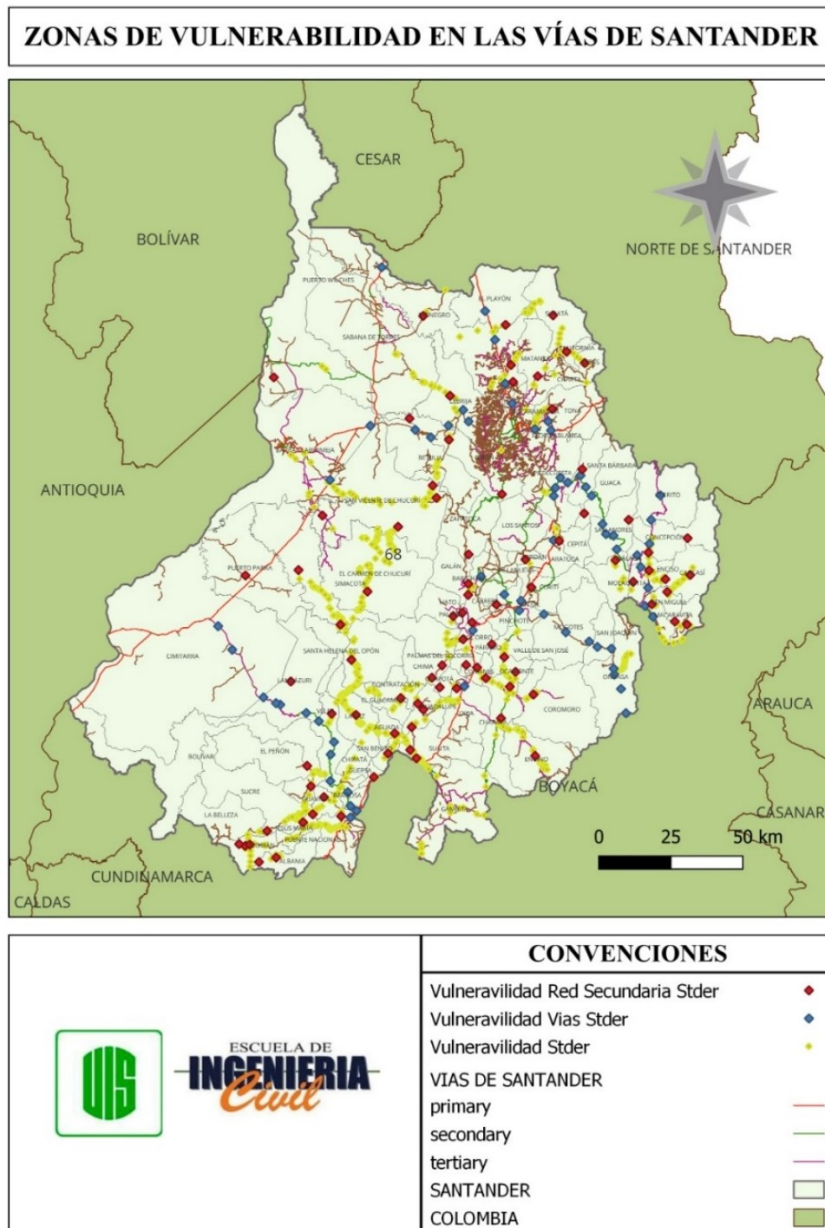


Figura 6. Mapa de información espacial zonas de vulnerabilidad en las vías de Santander.

Fuente. Autores, basados en información de grupo de Geomática UIS e información de INVIAS.

5. Propuesta conceptual de modelo logístico para Santander

En este capítulo se define el plan logístico de carga en tres fases, para la primera fase se establecen las variables que nutren un modelo logístico de transporte de carga terrestre por carretera, posteriormente en una segunda fase se define el procedimiento a realizar para el montaje de dicho

modelo con enfoque en el departamento de Santander haciendo uso de la información existente; finalmente, para la tercera fase se analizan los posibles resultados que se puedan obtener con este tipo de modelo.

5.1. Datos de entrada para el desarrollo de un modelo conceptual

En esta sección se describen y detallan algunas de las variables de entrada requeridas para el desarrollo de un modelo logístico de transporte de carga terrestre por carretera para el departamento de Santander.

5.1.1. Infraestructura de transporte

En el departamento de Santander de manera general se cuenta con infraestructura de tipo vial, férrea, fluvial y aérea; de donde cerca de 23.183 kilómetros son de vía terrestre vehicular, con dos corredores férreos los cuales son: La Dorada – Chiriguaná, actualmente en uso bajo concesión, y el corredor Café Madrid (Bucaramanga) – Sabana de Torres – Puerto Wilches, se encuentra en abandono, cuenta con dos puertos sobre el Río Magdalena en las ciudades de Barrancabermeja y Puerto Wilches; y cuenta con dos aeropuertos principales situados en las ciudades de Bucaramanga y Barrancabermeja, así como ocho aeropuertos alternos situados en: Barbosa, Málaga, Cimitarra, El Socorro, Sabana de Torres, San Vicente de Chucuri, San Gil y Zapatoca, estos datos serán utilizados para otorgar un panorama general de la movilidad y el transporte del departamento de Santander (Martínez., 2022).

5.1.2. Tipo de vía

Santander cuenta actualmente con aproximadamente 1.355 Kilómetros de red primaria, de donde el 51.5% de ella se encuentra en buen estado; 2.361 kilómetros de red secundaria dividida en un 22.7% que se encuentra en condiciones aceptables, y un 65.2% que no está pavimentada; finalmente, 19.467 kilómetros de red terciaria que pertenecen a los municipios o son concesión

del INVIAS, además de que esta red terciaria sólo cuenta con 29 Km pavimentados que equivalen al 0.1% (Martínez., 2022); esto dará un panorama inicial de las características de las vías del departamento, las cuales van asociadas con los niveles de servicio, el estado de las vías, entre otras variables que intervienen en el modelo y el cálculo de otras variables como son los costos y el tiempo.

5.1.3. Número de Carriles

Para el cálculo de variables como los niveles de servicio, tiempos de viaje, velocidad de diseño y costos, es necesario conocer la cantidad de carriles asociados a cada uno de los tramos de la red vial.

5.1.4. Ubicación de bahías

Las bahías son espacios destinados para el descargue y cargue de mercancías o pasajeros, la presencia de estos tipos de espacios dentro de una vía evita los estancamientos que obstruyen la continuidad de la movilidad.

5.1.5. Reductores de Velocidad

En las zonas urbanas el uso de reductores de velocidad es de gran importancia por motivos de seguridad, en estas regiones el flujo peatonal es constante y por ende la velocidad de los vehículos debe ser acorde a estos lugares.

5.1.6. Semáforos

Son paradas obligatorias ubicadas en las zonas urbanas, estas afectan los tiempos de viaje, pero a su vez contribuyen con el manejo adecuado de la movilidad dentro de las ciudades.

5.1.7. Velocidad de diseño

Es un parámetro establecido en el diseño de un tramo vial, estas se encuentran sujetas al Manual de Diseño Geométrico de carreteras 2008 (INVIAS), y permiten estimar la velocidad promedio con la que se presume se desarrollara la movilidad vial.

5.1.8. Puntos de Control

Los puntos de control o también denominados peajes son paradas obligatorias en donde se debe pagar un monto específico según el tipo de vehículo, la zona donde se encuentren ubicados, estos fondos son destinados para el mantenimiento de la red vial; cabe aclarar que algunos de estos peajes están en concesión con empresas privadas y los demás son con entidades públicas (INVIAS) y del estado. Esta variable otorga los niveles de servicio y tipos de vehículos requeridos en el modelo.

5.1.9. Estado de la vía

Esta variable influye significativamente en la movilidad, debido a que una vía en mal estado no permite un flujo constante de vehículos; actualmente en Santander solo el 50.7% de la red vial primaria y el 65.1% de la red vial secundaria se encuentra en buen estado (Martínez., 2022).

5.1.10. Costos

El costo asociado a el transporte de mercancías es una variable de gran importancia para el modelo, debido a que a partir de dichos factores económicos será posible deducir la viabilidad de un proyecto.

5.1.11. Tiempos

Los tiempos de viaje son uno de los factores más importantes y complicados de establecer en el transporte de carga, debido a la incertidumbre del estado en el que se pueden encontrar las vías.

Esta variable se ve afectada por cambios de velocidades y estancamientos; de esta manera y con el fin de mantener los tiempos iniciales del transporte de mercancías, el modelo logístico de transporte de carga terrestre por carretera presentaría vías alternas que den solución a dicho problema.

5.1.12. Bombeo

Es la inclinación que tiene la vía para el drenaje de aguas, es importante tener en cuenta esta variable en zonas de alta actividad meteorológica, ya que aumentaría la posibilidad de que se presenten deslizamientos de tierra, disminución de velocidades debido a pérdida de fricción con el pavimento, entre otros fenómenos que afectarían la movilidad.

5.1.13. Zonas Urbanas

Son los puntos geográficos donde se encuentran ubicados pueblos y ciudades; esta información es de gran utilidad en el modelo debido a que conociendo la localización exacta de dichas zonas urbanas es posible determinar si estas inciden de manera directa en el flujo normal de las principales vías de transporte de mercancías.

5.1.14. Tipo de Carga

Conocer la tipología de carga dentro del modelo es muy útil si se desea establecer cuáles son los insumos que entran y salen al departamento, la cantidad de viajes realizados en relación con cada uno de ellos y de esta manera prever cuales serían las vías con mayor flujo de vehículos de uso industrial; adicionalmente, se pueden tener en cuenta estos datos para establecer tiempos de mantenimiento para dichas vías que son mayormente transitadas. En Santander se movilizaron por vía terrestre para el año 2021 aproximadamente 12'956.002 toneladas de carga en el departamento (Martínez., 2022).

5.1.15. Niveles de servicio

Es una medida cualitativa que describe las condiciones de operación de un flujo vehicular o personas, y de su percepción por los conductores o pasajeros (Escobar, 2007) conociendo los niveles de servicio de las vías es posible establecer una relación con los tiempos y velocidades de viaje.

5.1.16. Terminales de transbordo y almacenamiento

Estos son lugares utilizados para realizar cambios del medio de transporte tanto nacional como al exterior, estos trasbordos pueden ser tanto de pasajeros como mercancías cuando se requiera algún cuidado especial o un descanso del trayecto. Cabe resaltar que el comercio exterior de mercancías requiere de una provisión de infraestructura técnica adecuada.

5.1.17. Topografía

Es una representación gráfica de la superficie terrestre y es de gran utilidad en el desarrollo del modelo para obtener una ubicación espacial de todas y cada una de las variables; de manera que sea más fácil su asociación.

5.1.18. Zonas de inestabilidad geológica

Santander es uno de los departamentos con mayor zona montañosa en el país, esto contribuye a que se presente una mayor probabilidad de derrumbes (movimientos de tierra) o actividad sísmica; lo que repercute en que algunas zonas no sean estables para el paso vehicular o que a menudo presenten cierres totales o parciales debido a dichos sucesos.

5.1.19. Cierres por obras de infraestructura

A menudo se encuentran obras de infraestructura de tipo privado o público que se desarrollan en sectores cercanos a vías principales o incluso en ocasiones son obras que se desarrollan sobre las

vías; generando una disminución en el flujo habitual por cierres parciales y obstrucciones momentáneas al momento de realizar procesos de cargue y descargue de materiales e insumos.

5.1.20. Tipo de vehículo

Esta es una variable que va de la mano con otras como el tipo de carga y los niveles de servicio; dependiendo del tipo de vehículo se puede generar una congestión masiva de vehículos, debido a que, en presencia de varios vehículos de carga pesada en topografías elevadas, disminuyen su velocidad y obstaculizan el paso de vehículos livianos y las maniobras de adelantamiento se vuelven peligrosas.

5.1.21. Rutas de Carga

El tener un registro de las empresas que movilizan carga pesada por el departamento permite identificar las vías por las cuales se transporta la mayor cantidad de carga en el departamento, lo que ayuda al modelo a determinar cuáles son las rutas que requieren una mayor atención en cuanto a mantenimiento o mejoras.

5.1.22. Tipo de pavimento

Conocer las características del pavimento permite estimar los costos asociados en el desarrollo de futuros proyectos y del mantenimiento de las vías preexistentes.

5.2. Esquema del modelo conceptual

A continuación, en la *Figura 7*, se presenta un esquema inicial del modelo conceptual de transporte de carga terrestre por carretera planteado, dando respuesta a la pregunta planteada inicialmente.

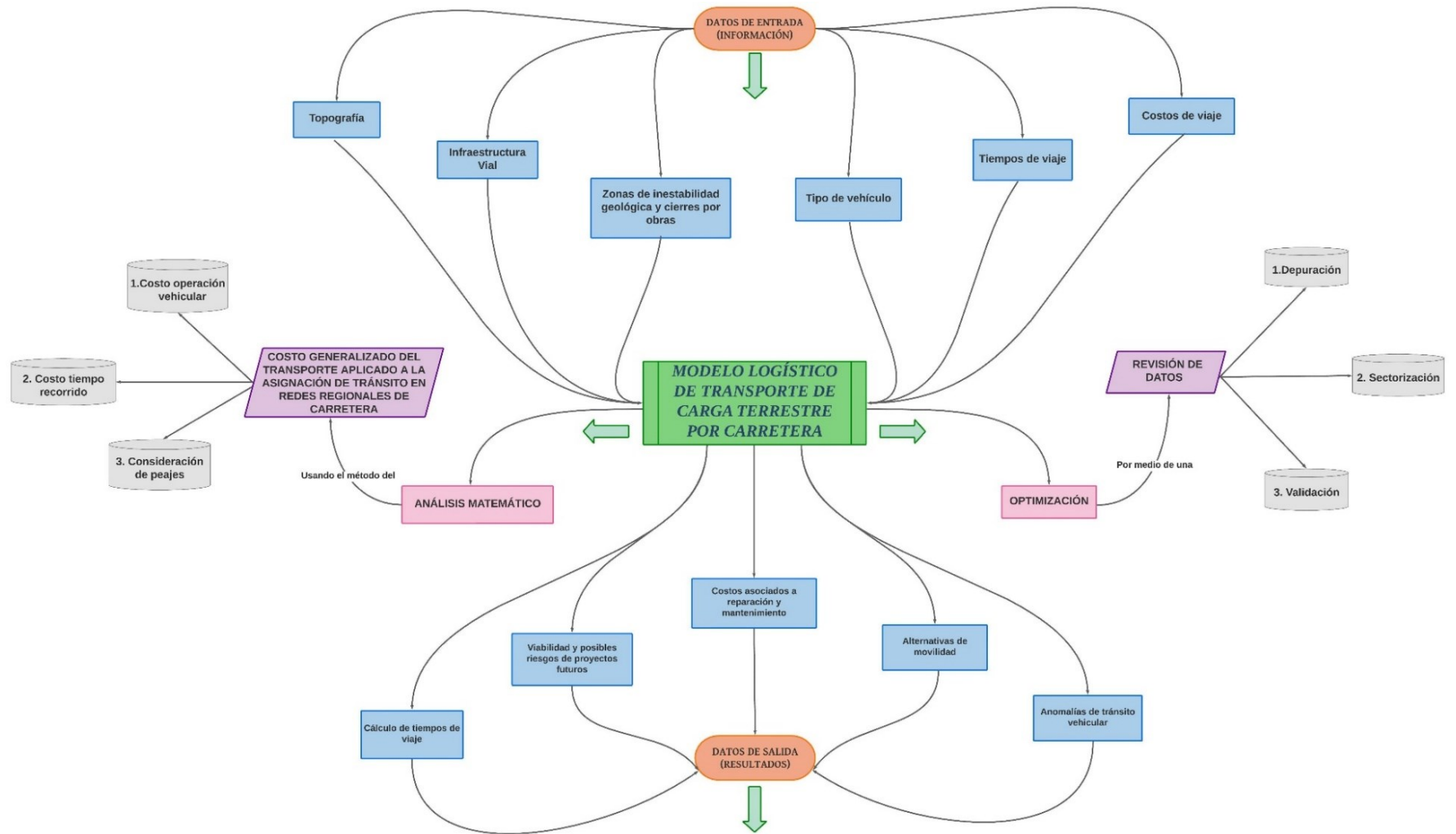


Figura 7. Diagrama preliminar del modelo conceptual de transporte de carga terrestre por carretera.

Fuente. Autores, basados en información de estudios preliminares (Transporte I. M., 2002).

Para el planteamiento del modelo logístico de transporte de carga terrestre por carretera, se formula un esquema que empieza con el ingreso de las variables de entrada aplicables al departamento de Santander, estas se seleccionaron basados en diversas fuentes de información oficiales. Posteriormente, se realizan procesos de análisis matemático, depuración, sectorización y validación de datos, en donde el método empleado para el análisis matemático fue el de costo generalizado del transporte aplicado a la asignación de tránsito en redes regionales de carretera, un método escogido después de una exhaustiva revisión de la literatura (Transporte I. M., 2002) y que es de gran utilidad en el estudio y análisis de flujos, ya que este método considera las exigencias actuales de los usuarios de las redes regionales, pues se incluyen los costos más importantes y representativos que repercuten en dichos usuarios, tales como, el costo de operación vehicular, el costo del tiempo recorrido y el peaje cuando se amerite, además de ser uno de los más completos por adicionar dentro de sus variables el estado físico de la superficie de rodadura (Transporte I. M., 2002), presentando un costo real del transporte. Finalmente, se obtienen los diversos resultados esperados para el modelo planteado.

5.3. Resultados de la simulación inicial

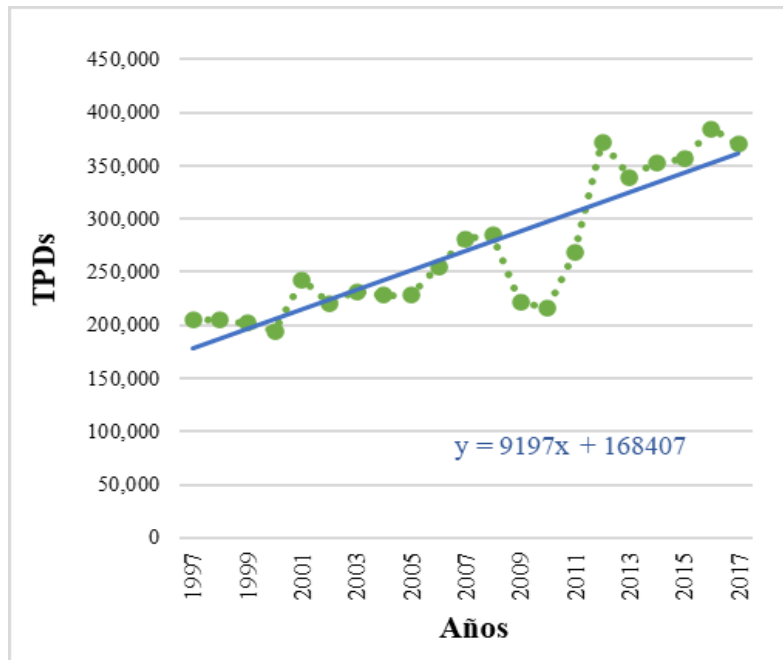
En esta sección, se presentan los resultados obtenidos después de realizar la simulación en los softwares Aimsun y TransCad, tras el montaje del modelo planteado.

5.3.1. Matriz O/D

Para el desarrollo de la matriz O/D, se realizó con la base de datos de INVIAS que contaba con valores de tránsito promedio diario semanal de peajes en Santander (serie histórica de tránsito TPD 1997-2018), debido a que no se tenían datos para el año 2021 y 2022 se realizó

una proyección de los autos, buses y camiones para este año, a partir de información histórica de las series TPD INVIAS (1997–2017) con la cual se obtuvo la ecuación lineal de regresión;

$$\text{TPD} = 9197 \times \text{año} + 168407$$



Gráfica 3. Regresión lineal de la serie histórica de los TPDs del INVIAS (1997-2017).

Fuente. Base de datos TPDs INVIAS (INVIAS, 2018).

Después de tener las proyecciones para el año 2022 del tránsito promedio diario, se elaboró la matriz origen – destino, a partir de dicha información que se complementó con la información de viajes dada por la base de datos de la RNDC; cabe aclarar que para el caso particular de este modelo se hizo un análisis de flujos diario, ya que el transporte de carga a diferencia del transporte privado opera de manera casi continua a lo largo del día, con un porcentaje considerable de circulación en horas de la noche, por eso fue posible usar de manera directa los datos de TPD y con esto conformar la matriz como se evidencia en la *Tabla 17*; posteriormente se cargó al software de simulación utilizado, que para el caso de esta tesis correspondió a Aimsun y TransCad.

Tabla 17. Parte de la Matriz O/D (Ejemplo)*Fuente.* Autores basados en los datos de TPDs (INVIAS, 2018) y (Transporte M. d., s.f.).

	BARBOSA	BARRANCABERMEJA	BUCARAMANGA	EL PLAYON	FLORIDABLANCA	GIRON	LEBRIJA	LOS SANTOS	PIEDECUESTA	RIONEGRO	SAN GIL	SOCORRO	TOTAL
BARBOSA	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
BARRANCABERMEJA	0	0	50	0	0	0	25	0	0	0	0	0	75
BUCARAMANGA	0	10	0	0	0	0	0	0	245	280	0	0	535
EL PLAYON	0	0	0	0	0	0	0	0	0	60	0	0	60
FLORIDABLANCA	0	0	0	0	0	255	0	0	0	0	0	0	255
GIRON	0	0	475	0	255	0	115	0	0	0	0	0	845
LEBRIJA	0	75	0	0	0	115	0	0	0	0	0	0	190
LOS SANTOS	0	0	0	0	0	0	0	0	30	0	0	0	30
PIEDECUESTA	0	0	300	0	0	0	0	25	0	0	20	95	440
RIONEGRO	0	0	285	60	0	0	0	0	0	0	0	0	345
SAN GIL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
SOCORRO	0	0	0	0	0	0	0	0	95	0	0	0	95
TOTAL	0	85	1110	60	255	370	140	25	370	340	20	95	2870

Teniendo creado el escenario con la demanda de tráfico y las matrices de autos, buses y camiones se procede a realizar la validación del escenario por modo de viaje, esto se realiza por medio del indicador GEH, este nos permite realizar una comparación de los datos reales con los modelados, teniendo en cuenta que para realizar esta validación se debe tomar el 10% de los puntos de conteo (peajes), el software cuenta con una herramienta llamada detectores que se encargan de contar los vehículos en el modelo para verificar si se validó de forma correcta, esta comprobación se verifica como se muestra en la *Tabla 18*.

Tabla 18. Criterio de validación del escenario en función del indicador GEH.

Fuente. Autores, basados en estudios previos del GEH (AMAYA, 2019) (S.A.S., 2016).

CRITERIO	ACEPTACIÓN
GEH < 5	60%
GEH < 10	95%
GEH < 12	100%

Luego de tener la validación del modelo como se muestra en la *Tabla 19*, se realizaron dos escenarios para visualizar el comportamiento de los vehículos frente a situaciones que se presentaban en las vías.

Tabla 19. Validación de datos del modelo.

Fuente. Autores, basados en estudios posteriores del GEH (AMAYA, 2019) (S.A.S., 2016).

TIPO DE VEHÍCULO	GEH < 5	GEH < 10	GEH < 12
AUTOS	70%	100%	100%
BUSES	100%	100%	100%
CAMIONES	100%	100%	100%

5.3.2. Estructuración de la red de transporte de Santander

El proceso de estructuración de la red que se llevó a cabo para el montaje del modelo de simulación en los softwares se describe a continuación.

✓ Depuración y organización de la red inicial

Como punto de partida se contaba inicialmente con la malla entregada por el grupo de investigación de Geomática utilizada en el inventario vial realizado en el año 2009 y algunas otras mallas trabajadas por el grupo de investigación durante los últimos tres años. El primer paso de trabajo consistió en superponer las mallas viales para determinar cuál era la más completa, y de esta forma trabajar con información lo más actualizada posible.

El siguiente paso de trabajo consistió en la conformación de una malla que tuviera la mayor cantidad de elementos, esto se hizo revisando las otras mallas y trayendo aquellos elementos que tenían continuidad (aquellos elementos que se conectaban red secundaria y primaria, no elementos sueltos) a la malla que más elementos tenía.

Seguidamente con el fin de establecer aquellas vías dentro de la malla vial nacional que harán parte de la red de transporte final, se procedió a hacer una depuración de la información, esta depuración primeramente comprendió la definición de sectores de gran importancia en el contexto del transporte de carga, los cuales se escogieron teniendo en cuenta la mayor cantidad de los viajes de carga obtenidos de la matriz realizada con los datos del INVIAS.

Los sectores se encuentran conformados por departamentos, estos sectores son los siguientes:

1. Sector Sur: Cundinamarca, Meta, Tunja y Boyacá.
2. Sector Este: Norte de Santander.
3. Sector Sureste: Arauca y Casanare.

4. Sector Oeste: Antioquia, Cauca y Valle del Cauca.
5. Sector Norte: Atlántico, Magdalena, César y Bolívar.

En el mismo orden numérico de los sectores presentados anteriormente se les realizó una clasificación a los elementos de la malla vial, estos elementos se agruparon en estos sectores con el fin de identificar aquellos que al final harían parte de la red de transporte. Debido a que esta agrupación de sectores se realizó a partir de una selección de las vías dentro de los polígonos de los sectores, no se incluyeron las vías que están fuera de los sectores, por ello surgió la necesidad de hacer una selección de aquellas vías primarias que estaban fuera de los sectores e incluirlas a través de la red final, llenando un campo que permitía reconocer todas las vías que conformarían la red de transporte (un ejemplo de este conflicto se presenta en la *Figura 2*.

Posteriormente se procedió a hacer la verificación de entre la información interna de los elementos de la malla obtenida y las mallas con las que se contaba. Al final de este trabajo, se identificó que la malla final contaba con poca información descriptiva útil de las vías (atributos). Principalmente se encontraba el campo que describe el nombre de la vía nacional.

✓ **Campos mínimos necesarios para una red de transporte**

En la *Tabla 20* se pueden evidenciar los campos mínimos necesarios que debe tener una red de transporte para un modelo.

Tabla 20. Campos mínimos en la red de transporte regional para un modelo.

Fuente. Autores.

CAMPOS NECESARIOS EN LA RED DE TRANSPORTE REGIONAL		
NOMBRE DEL CAMPO	DESCRIPCIÓN	EJEMPLO DE LLENADO
<i>ID</i>	Código identificativo	1
<i>NOMBRE</i>	Nomenclatura vial	Carrera 27
<i>USO_VIAL</i>	Tipo de vía, vehicular o peatonal	Vehicular
<i>NUM_CALZ_AB</i>	Cantidad de calzadas en el sentido de dibujo AB	1
<i>NUM_CALZ_BA</i>	Cantidad de calzadas en el sentido de dibujo BA	1
<i>NUM_CARR_AB</i>	Número de carriles en el sentido de dibujo AB	1
<i>NUM_CARR_BA</i>	Número de carriles en el sentido de dibujo BA	1
<i>ANCH_CARR_AB</i>	Ancho de cada carril en metros para el sentido AB	3.6
<i>ANCH_CARR_BA</i>	Ancho de cada carril en metros para el sentido BA	3.6
<i>JERARQUIA</i>	Jerarquía vial	Primaria
<i>LONG</i>	Longitud del tramo vial en metros	1500
<i>VEL_OPER</i>	Velocidad de operación en kilómetros por hora	60
<i>DIR</i>	Dirección de flujo (0, -1, 1 y 2)	-1
<i>ALPHA</i>	Parámetro de modelamiento	0.7
<i>BETA</i>	Parámetro de modelamiento	4
<i>TIEMPO_AB</i>	Duración de recorrido vehicular en el sentido AB en minutos	10
<i>TIEMPO_BA</i>	Duración de recorrido vehicular en el sentido BA en minutos	12
<i>AUTOS_AB</i>	Cantidad de autos que circulan por el tramo en sentido AB	30
<i>AUTOS_BA</i>	Cantidad de autos que circulan por el tramo en sentido BA	30
<i>MOTOS_AB</i>	Cantidad de motos que circulan por el tramo en sentido AB	50
<i>MOTOS_BA</i>	Cantidad de motos que circulan por el tramo en sentido BA	50
<i>BUSES_AB</i>	Cantidad de buses que circulan por el tramo en sentido AB	10
<i>BUSES_BA</i>	Cantidad de buses que circulan por el tramo en sentido BA	10
<i>CAMIONES_AB</i>	Cantidad de camiones que circulan por el tramo en sentido AB	5
<i>CAMIONES_BA</i>	Cantidad de camiones que circulan por el tramo en sentido BA	5
<i>EQUIV_AB</i>	Cantidad de vehículos equivalentes que circulan por el tramo en sentido AB	75.5
<i>EQUIV_BA</i>	Cantidad de vehículos equivalentes que circulan por el tramo en sentido BA	75.5
<i>EQUIV_TOTAL</i>	Suma de vehículos equivalentes en el tramo vial	151
<i>PREC_AB</i>	Precarga vehicular en vehículos para sentido AB	750
<i>PREC_BA</i>	Precarga vehicular en vehículos para sentido BA	750
<i>CAP_AB</i>	Capacidad vial en vehículos-hora-sección para el sentido AB	1200
<i>CAP_BA</i>	Capacidad vial en vehículos-hora-sección para el sentido BA	1200

✓ Optimización de la malla vial depurada

Posteriormente y antes de llenar los campos necesarios de la red vial de transporte, se procedió a realizar una topología de ArcGIS para la malla con la que se cuenta, en este punto se identificó que las vías de doble calzada no cuentan con un elemento que represente cada calzada, sino que se encontraban vías de doble calzadas representadas tanto por un elemento como por dos elementos como se presenta en la *Figura 8*.

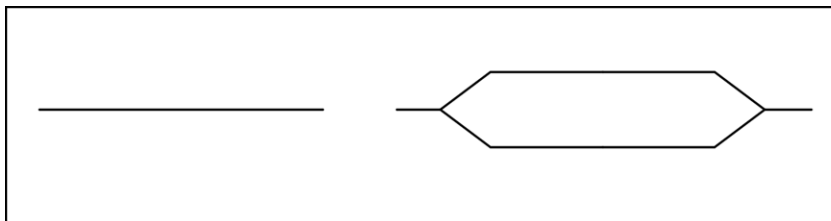


Figura 8. Representación en ArcGIS de elementos de doble calzada.

Fuente. Autores, basados en la topología de ArcGIS.

En este caso se debía tomar la decisión de generalizar todos los elementos de la red de una sola forma, por lo cual se tomó la decisión de representar cada una de las calzadas con un elemento, lo cual es lo más conveniente desde el punto de vista del modelo, ya que es más sencillo duplicar el elemento con la ayuda de la herramienta “Dualizar” de Aimsun, sin embargo, para aprovechar al máximo la herramienta primero se procedió a llenar los campos de la malla con el fin de duplicar estos valores al nuevo elemento con la herramienta.

Además de lo anterior hubo que separar las vías que harían parte de la red de transporte final de las vías que no la conformarían debido a que al hacer la topología se reconocerían errores de vías que no hacen parte del estudio, lo cual entorpecería las labores de corrección topológica.

✓ **Llenado de Código DIR**

Se procedió a llenar los campos de “Código DIR”, esto se realizó con la identificación en Google Maps para aquellos corredores de la red secundaria principalmente, ya que la totalidad de las vías primarias en gran porcentaje son doble calzada con doble sentido. Uno de los conflictos identificados, fue que al momento de llenar el “código DIR”, se hizo en un campo creado en la malla de ArcGIS, este campo es diferente al campo DIR que se crea automáticamente en el software. La dualización de elementos funciona de forma correcta para el código DIR creado por Transcad, mientras que no funciona de forma correcta para el campo creado en ArcGIS, por lo cual fue necesario al final, eliminar el campo “Código DIR” y dejar únicamente los datos migrados al campo DIR.

✓ **Llenado de jerarquía vial**

Posteriormente se realizó la asignación de jerarquía vial, este trabajo se hizo con base en las otras mallas, es decir, los Shapes de otras mallas corresponden solo a vías nacionales como es el caso del INVIAS, la tarea básicamente consistió en asignar esas mismas vías que representan las vías primarias a la malla final que se tiene, esto se hizo superponiendo las mallas y asignando de forma respectiva las jerarquías.

✓ **Llenado de Alpha y Beta**

El siguiente paso de trabajo consistió en asignar los valores de Alfa y Beta en la malla vial, este valor se asigna dependiendo de la jerarquía vial anteriormente asignada y con base en la siguiente tabla.

*Tabla 21. Valores empleados de los parámetros Alfa y Beta.**Fuente. Autores, basados en información de la ANI (ANI, 2016).*

PARÁMETROS ALFA Y BETA		
Funcionalidad	Alfa	Beta
Autopista	0.78	2.5
Arteria Urbana	0.4	5.5
Colector	0.7	4
Local	0.78	3.8
Conector a "Centroide de zona"	0.15	4

La *Tabla 21* fue extraída del documento “APP ACCESOS NORTE DE BOGOTÁ-ACCENORTE” el cual es un estudio colombiano realizado para la ANI y se basa en los postulados propuestos por Fehr y Peers en el año 2010.

Las vías primarias se tomaron en cuenta como si fuesen vías principales y las vías secundarias serán tomadas en cuenta como si fuesen vías urbanas asignando los valores de Alfa y Beta respectivamente.

✓ **Llenado de tipo de terreno**

Seguidamente se realizó la clasificación de los tramos viales dependiendo de la zona en la que se encontraban, donde se contemplaron como planas las regiones de la costa caribe y la Orinoquía; la región andina se contempló como zona montañosa; como excepción se tomó una zona de influencia del altiplano cundi-boyacense dejándolo como ondulado, en cuanto al departamento de Santander se contemplaron partes de la vía a Málaga, Berlín, pescadero, san Vicente - Zapatica, contratación- santa helena como escarpadas esto debido a las

pendientes pronunciadas en sus tramos (consideración propia por experiencia), además la región del magdalena medio se contempló como plana y así mismo zonas cercanas al magdalena medio del departamento de Santander se contemplaron como ondulados, cabe destacar que estas consideraciones no son exactas, son estimaciones en base a la topografía de la región y el conocimiento de las diferentes zonas.

✓ **Llenado de velocidades de operación**

A partir de la clasificación anterior se establecieron las velocidades de operación ya que no se encontraron datos de esta en la búsqueda de información realizada. Estas velocidades se establecieron con base en el tipo de terreno y las velocidades de diseño estipuladas en el manual de diseño geométrico del INVIAS que se presentan en la *Figura 9*.

CATEGORÍA DE LA CARRETERA	TIPO DE TERRENO	VELOCIDAD DE DISEÑO DE UN TRAMO HOMOGÉNEO V_{TR} (km/h)									
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Primaria de dos calzadas	Plano							///	///	///	///
	Ondulado							///	///	///	///
	Montañoso						///	///	///	///	///
	Escarpado						///	///	///	///	///
Primaria de una calzada	Plano							///	///	///	///
	Ondulado							///	///	///	///
	Montañoso						///	///	///	///	///
	Escarpado						///	///	///	///	///
Secundaria	Plano							///	///	///	///
	Ondulado							///	///	///	///
	Montañoso						///	///	///	///	///
	Escarpado						///	///	///	///	///
Terciaria	Plano							///	///	///	///
	Ondulado							///	///	///	///
	Montañoso							///	///	///	///
	Escarpado							///	///	///	///

Figura 9. Valores de la velocidad de diseño de los tramos homogéneos en función de la categoría de la carretera y el tipo de terreno.

Fuente. Manual de diseño geométrico INVIAS (INVIAS M. d., 2013)

Una vez obtenidas las velocidades de operación, se procedió a calcular los tiempos de viaje por tramo en minutos, estos tiempos de viaje se estimaron a partir de las velocidades de diseño y las longitudes de los tramos viales.

✓ Llenado de anchos de carril

Los anchos de carril se llenaron conforme a los anchos normativos para el diseño de una calzada, los cuales fueron extraídos del manual de diseño geométrico, teniendo en cuenta el tipo de terreno, la jerarquía y el número de calzadas. (ver *Figura 10*).

CATEGORÍA DE LA CARRETERA	TIPO DE TERRENO	VELOCIDAD DE DISEÑO DEL TRAMO HOMOGÉNEO (V_{TR}) (km/h)									
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Primaria de dos calzadas	Plano	-	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30
	Ondulado	-	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30
	Montañoso	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30	-
	Escarpado	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	-	-
Primaria de una calzada	Plano	-	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	-
	Ondulado	-	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30	-
	Montañoso	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	7.30	-	-
	Escarpado	-	-	-	-	7.00	7.00	7.00	-	-	-
Secundaria	Plano	-	-	-	-	7.30	7.30	7.30	-	-	-
	Ondulado	-	-	-	7.00	7.30	7.30	7.30	-	-	-
	Montañoso	-	-	6.60	7.00	7.00	7.00	-	-	-	-
	Escarpado	-	-	6.00	6.60	7.00	-	-	-	-	-
Terciaria	Plano	-	-	6.00	-	-	-	-	-	-	-
	Ondulado	-	6.00	6.00	-	-	-	-	-	-	-
	Montañoso	6.00	6.00	6.00	-	-	-	-	-	-	-
	Escarpado	6.00	6.00	-	-	-	-	-	-	-	-

Figura 10. Ancho de calzada (metros).

Fuente. Manual de diseño geométrico INVIAS (INVIAS M. d., 2013).

✓ Llenado de anchos de berma

Los anchos de berma se llenaron conforme a los anchos normativos para el diseño de una calzada, los cuales fueron extraídos del manual de diseño geométrico, teniendo en cuenta el tipo de terreno, la jerarquía y el número de calzadas. (ver la siguiente figura).

CATEGORÍA DE LA CARRETERA	TIPO DE TERRENO	VELOCIDAD DE DISEÑO DEL TRAMO HOMOGÉNEO (V_{TR}), km/h									
		20	30	40	50	60	70	80	90	100	110
Primaria de dos calzadas ¹	Plano	-	-	-	-	-	-	2.5/1.0	2.5/1.0	2.5/1.0	2.5/1.0
	Ondulado	-	-	-	-	-	-	2.0/1.0	2.0/1.0	2.5/1.0	2.5/1.0
	Montañoso	-	-	-	-	-	1.8/0.5	1.8/0.5	1.8/0.5	2.0/1.0	-
	Escarpado	-	-	-	-	-	1.8/0.5	1.8/0.5	1.8/0.5	-	-
Primaria de una calzada	Plano	-	-	-	-	-	-	2.00	2.00	2.50	-
	Ondulado	-	-	-	-	-	1.80	2.00	2.00	2.50	-
	Montañoso	-	-	-	-	1.50	1.50	1.80	1.80	-	-
	Escarpado	-	-	-	-	1.50	1.50	1.80	-	-	-
Secundaria	Plano	-	-	-	-	1.00	1.50	1.80	-	-	-
	Ondulado	-	-	-	1.00	1.00	1.50	1.80	-	-	-
	Montañoso	-	-	0.50	0.50	1.00	1.00	-	-	-	-
	Escarpado	-	-	0.50	0.50	0.50	-	-	-	-	-
Terciaria ²	Plano	-	-	1.00	-	-	-	-	-	-	-
	Ondulado	-	0.50	1.00	-	-	-	-	-	-	-
	Montañoso	0.50	0.50	0.50	-	-	-	-	-	-	-
	Escarpado	0.50	0.50	0.50	-	-	-	-	-	-	-

¹ Berma derecha/Berma izquierda

² Berma cuneta

Figura 11. Ancho de bermas.

Fuente. Manual de diseño geométrico INVIAS (INVIAS M. d., 2013).

✓ Llenado de TPD

El llenado de esta información se realizó conforme a la información del portal INVIAS (Serie histórica de tránsito promedio diario actualizado TPD 2019). El TPD del portal del INVIAS corresponde a TPD anual, que se define como el volumen total de vehículos que pasan por un punto o sección de una carretera en un periodo de tiempo determinado, que es mayor de un día y menor o igual a un año, dividido por el número de días comprendido en dicho periodo de medición tratándose de un promedio simple. Con base en lo anterior se entiende que la información del portal INVIAS corresponde datos de un día y no de una hora que es lo requerido en cualquier modelo de simulación; estos datos se usaron de esta forma, ya que si se reduce el valor el resultado final de la capacidad disminuye mucho más que las capacidades obtenidas hasta el momento.

✓ Cálculo de capacidad vial

La ecuación utilizada para el cálculo de la capacidad vial incluida dentro del modelo de simulación inicial planteado es la siguiente:

$$Sf_i = 2,800 (V/c)_i f_d f_w f_{HV} f_A$$

Donde:

Sf_i = Capacidad para un nivel de servicio i .

$(V/c)_i$ = Relación volumen a capacidad para un nivel de servicio i .

f_d = Factor de reducción de la capacidad por el desbalance direccional.

f_w = Factor de reducción por carriles y bermas angostos.

f_{HV} = Factor de reducción por la presencia de vehículos pesados.

f_A = Factor de reducción por el entorno de la vía.

Una vez calculada la capacidad de los corredores, se calculó el promedio en redes primarias y secundarias, este promedio se les asignó a las vías que no contaban con datos de capacidad (aquellas vías que no tenían TPD del INVIAS) y finalmente se obtuvo el archivo “Red_Santander_Capacidad”.

5.4. Escenarios

5.4.1. Escenario 1

Para el escenario 1 en la vía Bucaramanga - Barrancabermeja en el kilómetro 3, se simuló la vía cerrada debido a que en este sector se presentan derrumbes frecuentemente, con esto se busca determinar el comportamiento de los vehículos que transitan por esa vía y así poder calcular factores como tiempos de viajes, velocidades y niveles de servicio.

5.4.2. Escenario 2

Para el escenario 2 en la vía Bucaramanga-Zapatoca en la curva El Molino, se simuló la vía cerrada debido a que en este sector se presentan derrumbes frecuentemente, con esto se busca determinar el comportamiento de los vehículos que transitan por esa vía y así poder calcular factores como tiempos de viajes, velocidades y niveles de servicio.

5.4.3. Resultados

Un modelo logístico de transporte de carga por vía terrestre, que contenga información actualizada y generalizada, debe poder entregar alternativas de movilidad, posibles riesgos en proyectos futuros; esto asociado a la viabilidad de ellos, los costos asociados a reparación, construcción y mantenimiento de la infraestructura vial, adicionalmente los tiempos y costos estimados de viaje entre dos puntos establecidos y la afectación económica que se genera por el cierre total o parcial de una vía.

A partir de todos estos resultados se puede establecer un sistema de movilidad que permita prever cualquier tipo de anomalía en el flujo vehicular y dar alternativas viables tanto para la economía departamental, como la de sus empresas, mejorando las capacidades de exportación e importación de insumos dentro del departamento y finalmente repercutiendo en el mejoramiento de la calidad de vida de los habitantes santandereanos.

*Tabla 22. Resultados de los escenarios analizados en el modelo planteado.**Fuente. Autores.*

PARÁMETRO	ESCENARIO 1		ESCENARIO 2	
	ACTUAL	CON CIERRE	ACTUAL	CON CIERRE
LONGITUD OD (Km)	115.0	220.0	68.0	181.0
VELOCIDAD PROMEDIO (Km/h)	35.5	20.2	28.5	14.6
VELOCIDAD MÁXIMA (Km/h)	80.6	40.5	50.5	32.6
VELOCIDAD MÍNIMA (Km/h)	15.4	2.5	8.5	2.0
TIEMPO DE VIAJE (Minutos)	155.0	237.0	122.0	325.0
COSTO PROMEDIO DE TRANSPORTE POR Km	\$ 1,256,000	\$ 1,875,000	\$ 985,000	\$ 2,226,100

Si realizamos una comparación entre los dos escenarios logramos observar que la velocidad promedio en vías con cierre disminuye aproximadamente un 45.9%, lo que ha generado que para el escenario 1 haya un incremento en los tiempos de viaje del 52.9%, y en el promedio de costos un aumento del 49.3% equivalentes a \$619.000 extra por Km transportado; y para el escenario 2 de manera análoga, se presenta un incremento de tiempo del 166.4% y un aumento del 126% en los costos promedios, equivalentes a \$1'241.000 extra por Km transportado.

6. Conclusiones y recomendaciones

Santander es un departamento que cuenta con una geografía montañosa, una alta probabilidad de movimientos sísmicos y una variada presencia de amenazas por factores antrópicos, convirtiéndola en una zona inestable y compleja para el diseño de proyectos de infraestructura vial.

El análisis de la demanda en el transporte de carga terrestre por carretera para el departamento muestra un mayor flujo en las variables de viajes y transporte de carga en toneladas que tienen a Santander como destino, pero en cuanto a galones transportados no se evidencia una diferencia o tendencia clara entre los datos recopilados de origen y destino.

Las variables establecidas para el modelo logístico de transporte planteado están sujetas a la información existente en fuentes oficiales, investigaciones previas, y entre otras entidades; que muestren datos relacionados y de utilidad para el departamento de Santander.

Se plantearon dos escenarios de simulación en zonas donde hay presencia de factores antrópicos o de vulnerabilidad, mostrando la funcionalidad del modelo, al permitir la determinación del comportamiento de los vehículos que transitan la vía de estudio, por medio del cálculo de factores asociados como tiempos de viaje, velocidades y niveles de servicio.

Los resultados de los escenarios de cierres viales analizados en la simulación inicial planteada; arrojan una disminución en las velocidades promedio de viaje, que conllevan a generar un aumento en los costos y los tiempos requeridos para el transporte.

El método de costo generalizado de transporte aplicado a la asignación de tránsito en redes regionales de carretera es de gran utilidad debido a que su fundamento se basa en la selección del camino que ofrece el menor obstáculo para la circulación, además de tomar en consideración el análisis del deterioro del pavimento.

Se recomienda que, para futuros estudios se incluya dentro del modelo información de años atípicos como el 2020, para poder analizar y prever el comportamiento de la movilidad en el departamento frente a estos escenarios imprevistos.

Para mejorar el rendimiento del modelo logístico de transporte de carga terrestre por carretera, es recomendable ir agregando la información obtenida de fuentes oficiales (asegurando la calidad y validez de los datos) para años siguientes, e incluso establecer el cargue de dichos datos de manera automática para mejorar los procesos de actualización y análisis.

Referencias Bibliográficas

Especiales Vanguardia. (2023). 100 años del transporte y los combustibles en Santander. *Vanguardia*.

A., P. P. (16 de Febrero de 2022). *Definición De*. Obtenido de Definición De: <https://definicion.de/logistica/>

AMAYA, S. C.-D. (2019). *CALIBRACIÓN Y VALIDACIÓN DE PARAMETROS DE COMPORTAMIENTO MEDIANTE MICROSIMULACIÓN EN INTERSECCIONES, CASO ESTUDIO TUNJA*. Tunja: UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA. Obtenido de https://repositorio.uptc.edu.co/bitstream/handle/001/3772/Calibracion_y_validacion_de_parametros.pdf;jsessionid=16418B39DAD9ED0B9E65234BCE1D2C8D?sequence=1

ANATO, O. J.-P. (Octubre de 2019). 100 AÑOS DEL TRANSPORTE Y LOS COMBUSTIBLES EN SANTANDER. *Especiales Vanguardia*.

ANI. (20 de Abril de 2016). *GOV.CO*. Obtenido de Ministerio de Transporte: <https://www.ani.gov.co/asociacion-publico-privada-de-ip-accesos-norte-la-ciudad-bogota-dc>

ATLASSIAN. (2022). *Logistics Capacity Assessment*. Obtenido de <https://dlca.logcluster.org/display/public/DLCA/2.3+Colombia+Red+Carretera>

BENJUMEA, I. A.-E. (2013). *MODELO LOGÍSTICO DE TRANSPORTE DE CARGA CON ASIGNACIONES MONO-FUENTE A MULTI-DESTINO EMPLEANDO DINÁMICA DE SISTEMAS- SECTOR TRANSPORTADOR DE CARGA: CASO (BOGOTÁ-BUENAVENTURA)*. Bogotá D.C.: Universidad Libre.

competitividad, C. p. (2020 - 2021). *INFORME NACIONAL DE COMPETITIVIDAD*. Bogotá D.C.

Delivering moments of happiness. (30 de Agosto de 2020). *Logística de transporte y distribución: importancia, funciones y tipos*. Obtenido de Logística de transporte y distribución: importancia, funciones y tipos:

<https://www.beetrack.com/es/blog/logistica-transporte#:~:text=En%20el%20caso%20de%20la%20log%C3%ADstica%20de%20transporte%20terrestre%20para,y%20los%20clientes%2C%20entre%20otras>

editorial, E. (16 de Julio de 2021). *Concepto*. Obtenido de Concepto: <https://concepto.de/transporte-de-carga/>

editorial, E. (16 de Julio de 2021). *Concepto*. Obtenido de Concepto: <https://concepto.de/transporte-de-carga/>

Escobar, F. Á. (2007). *CAPACIDAD Y NIVELES DE SERVICIO DE LA INFRAESTRUCTURA VIAL*. Tunja: UNIVERSIDAD PEDAGÓGICA Y TECNOLÓGICA DE COLOMBIA.

Especiales Vanguardia. (08 de Febrero de 2023). Un siglo transportando la productividad de Santander. *Vanguardia*. Obtenido de <https://m.vanguardia.com/especiales-vanguardia/contenido/centenario/transporte-y-combustible/centenario.html>

GERARD DE JONG, H. G. (23 de Febrero de 2007). National and International Freight Transport Models: An Overview and Ideas for Future Development. Países Bajos: Transport Reviews.

Infogram. (2023). *Infogram*. Obtenido de LAS PRINCIPALES VÍAS TERRESTRE EN COLOMBIA: <https://infogram.com/las-principales-vias-terrestre-en-colombia-1gjk92ewj4vv216>

INVIAS, C. (21 de Septiembre de 2018). *INVIAS*. Obtenido de Instituto Nacional de Vías: <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/7677-serie-historica-de-transito-tpd-1997-2017>

INVIAS, M. d. (11 de Abril de 2013). *Ministerio de Transporte*. Obtenido de INVIAS: <https://www.invias.gov.co/index.php/archivo-y-documentos/documentos-tecnicos/especificaciones-tecnicas/985-manual-de-diseno-geometrico>

López, A. I. (Marzo de 2022). *esic*. Obtenido de esic: <https://www.esic.edu/rethink/management/5-funciones-principales-departamento-logistica>

M., P. P. (17 de Agosto de 2020). *Definición De*. Obtenido de Definición De: <https://definicion.de/matriz/>

- Martínez., F. J. (31 de Mayo de 2022). *INFRAESTRUCTURA DE TRANSPORTE*. Obtenido de https://prosantander.org/wp-content/uploads/2022/06/03-Prosantander_2022-Infraestructura.pdf
- Porto, P. (21 de Mayo de 2014). *Definición De*. Obtenido de Definición De: <https://definicion.de/>
- Porto, P. (22 de Julio de 2021). *Definición De*. Obtenido de Definición De: <https://definicion.de/lineamiento/>
- Prosantander. (22 de Marzo de 2022). *Una receta de desarrollo sostenible para Santander*. Obtenido de Una receta de desarrollo sostenible para Santander: https://prosantander.org/wp-content/uploads/2022/03/documento_1648153119_compressed.pdf
- RACC Mobility Club. (2023). *Área de Movilidad*. Obtenido de Área de Movilidad: <https://movilidad.racc.es/matriz-origen-destino/#:~:text=La%20matriz%20origen%2Ddestino%20es,rutas%20de%20transporte%20p%C3%ABablico%20colectivo>
- Rivera, A. G. (01 de Diciembre de 2015). *La red vial es imprescindible para el desarrollo y crecimiento de un país*. Obtenido de <https://www.udep.edu.pe/hoy/2015/12/la-red-vial-es-imprescindible-para-el-desarrollo-y-crecimiento-de-un-pais/>
- S.A., G. R. (Octubre de 2019). EL TRANSPORTE MOVILIZÓ EL DESARROLLO DE SANTANDER. *Especiales Vanguardia*.
- S.A.S., A. (2016). *ANÁLISIS DE MOVILIDAD PLAN PARCIAL EL CHANCO*. Bogotá D.C.: Asesoría en Ingeniería, Tránsito y Transporte.

Services, I. M. (2022). *Market Finder*. Obtenido de

https://marketfinder.thinkwithgoogle.com/intl/es_419/guide/ingram-netherlands-guide

Singer, A. (14 de Junio de 2021). *MapLink*. Obtenido de MapLink:

<https://maplink.global/blog/es/tipos-de-costos-logisticos/#:~:text=Los%20costos%20de%20transportaci%C3%B3n%20son,%20%20distribuci%C3%B3n%20recolecci%C3%B3n%20y%20entrega>.

Transporte, I. M. (2002). MÉTODOS DE ASIGNACIÓN DE TRÁNSITO EN REDES REGIONALES DE CARRETERAS: DOS ALTERNATIVAS DE SOLUCIÓN. En G. T. Sánchez, *Método del costo generalizado del transporte aplicado a la asignación de tránsito en redes regionales de carreteras* (pág. Ficha Técnica No. 214). Safandila: SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES INSTITUTO MEXICANO DEL TRANSPORTE.

Transporte, M. d. (s.f.). *RNDC*. Obtenido de Registro Nacional de Despacho de Carga:

<https://rndc.mintransporte.gov.co/MenuPrincipal/tabid/204/language/es-MX/Default.aspx?returnurl=%2f>

Universidad Militar Nueva Granada. (s.f.). *FAEDIS*. Obtenido de FAEDIS:

http://virtual.umng.edu.co/distancia/ecosistema/odin/odin_desktop.php?path=Li4vb3Zhcy9pbmdlblmlcmlhX2luZm9ybWF0aWNhL2ludmVzdGlnYWNpb25fZGVfb3BlcmFjaW9uZXNfaS91bmlkYWRFNC8=#slide_1